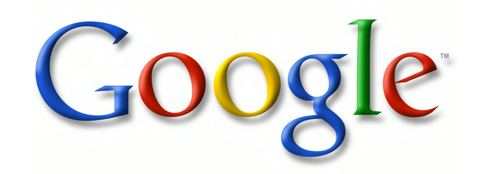
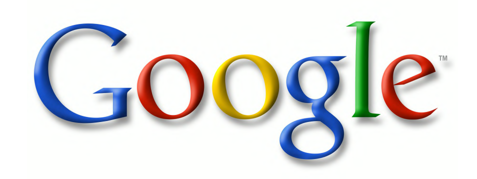
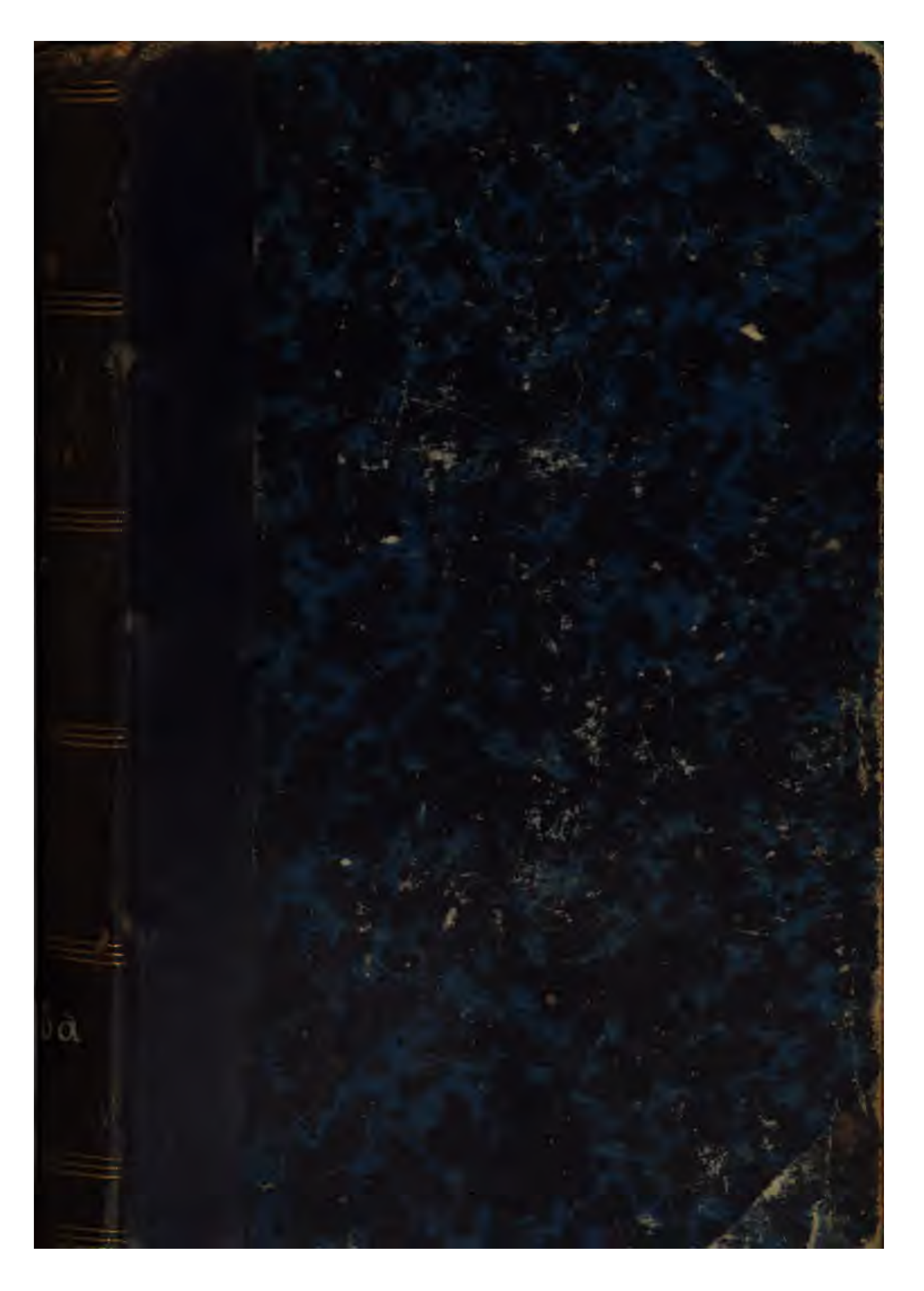
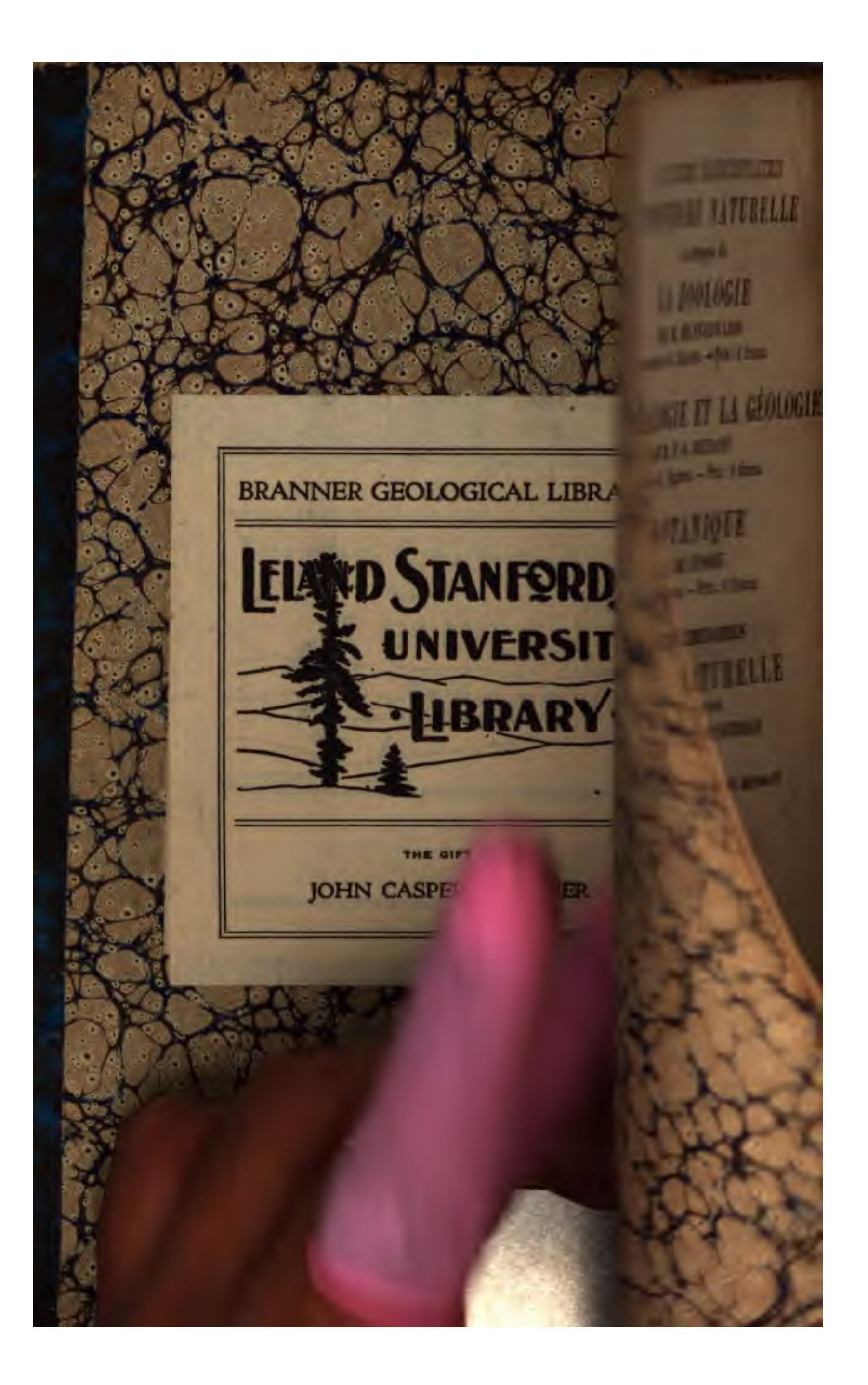







BRANNER GEOLOGICAL LIBRA
LELAND STANFORD
UNIVERSIT
·LIBRARY·
THE GIF
JOHN CASPE
ER



ENTAIRE

ATURELLE

aires et Maisons d'Éducation

SSIEU, ET F.-S. BEUDANT

GIE

EUDANT

ral de l'Instruction publique

opté

RUCTION PUBLIQUE

LYCÉES ET COLLÉGES

evêque de Paris

LISSEMENTS RELIGIEUX

N

TOR MASSON

cole de Médecine, 17

COURS ÉLÉMENTAIRE

D'HISTOIRE NATURELLE

LE COURS ÉLÉMENTAIRE

D'HISTOIRE NATURELLE

se compose de

LA ZOOLOGIE

PAR M. MILNE-EDWARDS

1 volume in-12, figures. — Prix : 6 francs.

LA MINÉRALOGIE ET LA GÉOLOGIE

PAR M. F.-S. BEUDANT

1 volume in-12, figures. — Prix : 6 francs.

LA BOTANIQUE

PAR M. A. DE JUSSIEU

1 volume in-12, figures. — Prix : 6 francs.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES

D'HISTOIRE NATURELLE

POUR SERVIR D'INTRODUCTION

AU COURS ÉLÉMENTAIRE D'HISTOIRE NATURELLE

PAR

MM. MILNE EDWARDS, DE JUSSIEU ET BEUDANT

NOTIONS PRÉLIMINAIRES

DE GÉOLOGIE

extraites du Cours de

M. BEUDANT

membre de l'Institut, inspecteur général de l'instruction publique

et rédigées conformément au programme officiel de l'enseignement dans les lycées (section des sciences)

PAR M. E.-B. DE CHANCOURTOIS

ingénieur au corps impérial des Mines

Imprimerie de Ch. Lahure (ancienne maison Crapelet)
rue de Vaugirard, 9, près de l'Odéon.

COURS ÉLÉMENTAIRE

D'HISTOIRE NATURELLE

A l'usage des Lycées, Colléges, Séminaires et Maisons d'Éducation

PAR

MM. MILNE-EDWARDS, A. DE JUSSIEU, ET F.-S. BEUDANT

GÉOLOGIE

PAR M. F.-S. BEUDANT

Membre de l'Institut, Inspecteur général de l'Instruction publique

---

Ouvrage adopté

PAR LE CONSEIL DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE

POUR L'ENSEIGNEMENT DANS LES LYCÉES ET COLLÉGES

et approuvé

Par Monseigneur l'Archevêque de Paris

POUR L'ENSEIGNEMENT DANS LES ÉTABLISSEMENTS RELIGIEUX

SIXIÈME ÉDITION

PARIS

LANGLOIS ET LECLERCQ
Rue des Mathurins-Saint-Jacques, 10

VICTOR MASSON
Place de l'École de Médecine, 17

1854

PROGRAMME

POUR L'ENSEIGNEMENT

DES SCIENCES NATURELLES

GÉOLOGIE.

XXIX. Constitution générale des parties solides de la surface de la terre. — Disposition des roches qu'on y observe. — Leur nature cristalline ou sédimentaire. — Présence ou absence des corps organisés fossiles. — Mode de dépôt de ces roches, stratification.

XXX. Phénomènes géologiques actuels propres à faire comprendre les phénomènes anciens. — Dépôts sédimenteux et concrétions. — Phénomènes de transports. Torrents, fleuves, glaciers.

XXXI. Phénomènes volcaniques. — Nature et disposition des roches et autres produits auxquels ils donnent naissance. — Leur action physique et mécanique. — Chaleur centrale. — Sources thermales et puits artésiens.

XXXII. Succession des divers dépôts de sédiment ou terrains régulièrement stratifiés. — Différences de stratification.

Terrains anciens antérieurs au terrain carbonifère. Ardoises. Fossiles caractéristiques. — Terrain houiller; sa disposition, son origine, ses principaux fossiles.

XXXIII. Terrains de sédiment moyen. — Grès bigarrés et terrains salifères. Sel gemme et gypse. — Calcaires du Jura. Pierre lithographique, minerai de fer, etc. — Craie. — Corps organisés caractéristiques et remarquables de ces terrains.

XXXIV. Terrains de sédiment supérieurs ou tertiaires; leur division en bassins. — Succession des terrains marins et d'eau douce qui les composent. — Lignites et gypse. — Corps organisés fossiles, animaux et végétaux.

XXXV. Terrains de transport ; diluvium et blocs erratiques. — Cavernes à ossements et brèches osseuses. — Formation de la couche superficielle du sol ou terre arable.

XXXVI. Terrains en masse non stratifiés ; leur disposition relativement aux terrains de sédiment. — Terrains primitifs et terrains ignés anciens. Granite et porphyres. — Volcans éteints ; leur analogie avec les volcans actuels. Basaltes, laves.

XXXVII. Influence des terrains ignés sur les terrains stratifiés. — Filons. — Soulèvements. — Époques relatives de soulèvement des principales chaînes de montagnes.

XXXVIII. Succession générale des êtres organisés et changements de la forme de la surface de la terre pendant les diverses périodes géologiques. — Position dans les couches de la terre des principales substances minérales utiles.

TABLE ANALYTIQUE

DE LA GÉOLOGIE

PAR ORDRE DE LEÇONS.

PREMIÈRE LEÇON.

PHÉNOMÈNES ACTUELS.

DEUXIÈME LEÇON.

APPLICATION AUX PHÉNOMÈNES ANCIENS.

TROISIÈME LEÇON.

COMPOSITION DE LA CROUTE TERRESTRE.

QUATRIÈME LEÇON.

OBSERVATIONS.

Nous croyons devoir encore présenter ici quelques-uns des moyens que l'on peut prendre pour employer avec fruit le peu de temps réservé à la Géologie.

1° Pour ce qui regarde les phénomènes actuels, il est nécessaire d'avoir de grands

dessins des principaux faits observés, et les reliefs du Vésuve et de l'Etna, par MM. Dufresnoy et Élie de Beaumont. La leçon ne doit être en quelque sorte que l'explication de ces figures.

Quelques coquilles vivantes, marines, fluviatiles et terrestres, quelques madrépores des rescifs, quelques échantillons de tourbe et de produits volcaniques, tous bien étiquetés, après avoir été seulement indiqués pendant la leçon, doivent être laissés sous les yeux des élèves jusqu'à la leçon suivante.

2° Pour la leçon d'application aux phénomènes anciens, il faut quelques échantillons bien choisis et bien étiquetés de coquilles fossiles, d'encrinites, d'échinides, de madrépores, qu'on puisse comparer à ce qui existe actuellement On se procurera des dessins de failles et de crevassements, le relief des crevassements du Jura, par M. Agassiz; des dessins de filons, d'injections de roches, de buttes basaltiques et des érosions attribuables aux eaux. On aura des échantillons des principales roches qu'on est obligé de citer, des passages des dépôts sédimentaires aux roches métamorphiques; et ces collections bien étiquetées seront mises sous les yeux des élèves hors de la leçon.

3° Pour faire connaître la composition de la croûte terrestre, on doit, dans la leçon, se borner à définir les principales roches de sédiment, à indiquer par des figures les diverses stratifications, à donner les généralités sur les variations des fossiles d'une époque à l'autre, enfin à présenter le tableau des terrains qu'on aura fait tracer en grand.

On devra se procurer une collection bien composée, bien étiquetée, des terrains; mais non pour la décrire en classe, ce qui ne produirait aucun résultat. On la placera dans un endroit convenable, où les élèves puissent facilement l'étudier dans l'intervalle des leçons.

4° On donnera de même les généralités sur la composition des principales roches de cristallisation ou de métamorphisme, dont la série aura été mise sous les yeux des élèves avec la collection précédente.

Quant à la géologie de la France, aux principales catastrophes du globe, aux différents états de l'Europe pendant les diverses périodes de formation, l'explication doit s'en faire sur des cartes convenablement disposées, dont la vue seule fournira plus de la moitié.

Par tous ces moyens les leçons peuvent devenir assez courtes, et laisser du temps pour diverses interrogations. On doit veiller encore ici à ce que dans l'intervalle des leçons les élèves lisent avec soin la partie de l'ouvrage qui a rapport à la dernière.

QUESTIONS PRINCIPALES A FAIRE AUX ÉLÈVES.

Parmi les nombreuses questions que l'on peut faire en Géologie, les suivantes nous paraissent être les plus utiles, comme se rapportant aux principes fondamentaux de la science, et comme offrant un moyen de vérifier si les élèves ont saisi ce qu'il y a de plus important à retenir, soit dans les leçons ou les lectures prescrites, soit dans les collections mises sous leurs yeux :

A. *Sur la première leçon.* — 1° D'après quels faits pense-t-on que la terre a été primitivement à l'état pâteux, et surtout à l'état pâteux igné? (§ 1 à 7) (129 A.)

2° Quels sont les effets des tremblements de terre sur le sol? (§ 29 à 34) (129 B.)

3° Peut on avoir une idée de la force expansive qui s'exerce de l'intérieur de la terre à l'extérieur? (§ 73.)

4° Citez les faits de soulèvements et d'affaissements lents. (§ 35 à 38.)

5° Quelle liaison y a-t-il entre les tremblements de terre et les phénomènes vol-

caniques? — Citez des exemples de ce qui se passe dans ces phénomènes, tant à la surface des terres que sous les mers. (§ 38 à 48.)

6° Qu'entendez-vous par cratères de soulèvement, et à quoi peut-on les reconnaître quand il n'y a pas de faits historiques de leur formation? — N'y a-t-il pas aussi des effondrements? (§ 50 à 52.)

7° Que se passe-t-il quelquefois postérieurement dans ces cavités? — Qu'est-ce que c'est qu'un volcan? (§ 43, 55 à 57.)

8° Citez les diverses époques de formation d'un volcan, les parties fixes, les parties variables. (§ 58 à 60.)

9° Décrivez ce qui se passe dans les éruptions volcaniques (dômes, filons et nappes des laves, cônes adventifs, forme des courants suivant les pentes parcourues, variations corrélatives de la lave). (§ 65 à 72.)

10° Donnez une idée de l'étendue des dépôts volcaniques (volcans actifs, volcans éteints). (§ 75, 76.)

11° Parlez des solfatares, des éruptions boueuses, des fumaroles et des geysers. (§ 64, 77 à 82.)

12° Donnez une idée des dégradations causées journellement par les influences atmosphériques et par l'action des eaux à la surface de la terre. (§ 84 à 102) (129 D.).

13° Quels sont les caractères des dépôts formés journellement sous les eaux (structure, nature, débris organiques)? (§ 108 à 117.)

14° Dites un mot des cordons littoraux, des deltas, des rescifs madréporiques et des tourbières. (§ 120 à 124)

B. *Sur la deuxième leçon.* — 1° Quelles sont les conséquences à tirer de la chaleur centrale? — A-t-on des preuves que la température de l'Europe fût plus élevée primitivement qu'aujourd'hui? — Quelle en a pu être la cause? (§ 131 à 140.)

2° Y a-t-il, parmi les anciennes couches terrestres, des dépôts comparables à ceux qui se forment de nos jours? (§ 142 à 147.)

3° Que pensez-vous de l'origine des dépôts charbonneux? (§ 148 à 150.)

4° Y a-t-il d'anciens dépôts comparables à ceux que forment aujourd'hui les sources ou les salzes? (§ 151.)

5° Peut-on prouver qu'il y a eu anciennement des soulèvements, des affaissements et effondrements comme il y en a de nos jours? (§ 152 à 164.)

6° Y a-t-il des faits qui prouvent que les couches terrestres aient été en tout temps disloquées, redressées, par les actions souterraines? (§ 165 à 172.)

7° Quelle peut-être l'origine des vallées et des cavernes? (§ 172 à 176). —La forme des vallées (§ 18 à 21) s'accorde-t-elle avec l'idée de crevassement du sol? — Combien de sortes de vallées faut-il distinguer?

8° Y a-t-il des dépôts anciens comparables à des éjections volcaniques? — Sur quoi se fonde-t-on pour admettre l'origine ignée des basaltes et des trachytes? (§ 178 à 196.)

9° Y a-t-il d'autres roches auxquelles on puisse attribuer une origine ignée, et quelles sont les raisons? (§ 197 à 206.)

10° Quelle est l'origine des filons et des amas métallifères? (§ 207 et 208, 209 et 210.)

11° Qu'entendez-vous par métamorphisme, et à quoi peut-on l'attribuer? (§ 211 et 212, 213.)

12° Y a-t-il des effets qu'on puisse attribuer à d'anciennes érosions des eaux? (§ 214 à 218.)

C. *Sur la troisième leçon.* — 1° Quelle est la division des terrains de sédiment; comment est-on parvenu à en établir la série, et comment distingue-t-on les formations les unes des autres? Quelle est la nature des dépôts? (§ 219 à 227.)

2° Comment se composent les terrains sédimentaires anciens, les terrains cumbriens, de Bala, les terrains siluriens et dévoniens; quels sont les débris organiques; s'y trouve-t-il des dépôts charbonneux; où s'en trouve-t-il en France? Où se trouve placé le calcaire carbonifère; ne passe-t-il pas à des grès? (§ 229 à 236.)

3° Comment se compose le terrain houiller en Angleterre, en Belgique; comment se compose-t-il en France, et comment les dépôts sont-ils placés; quels sont les débris organiques? (§ 236 à 246.)

4° Donnez une idée des terrains compris entre le terrain houiller et le terrain jurassique, de leurs débris organiques, des lieux où ils se trouvent, des matières subordonnées ou adventives. (§ 247 à 254.)

5° Donnez une idée du terrain jurassique, de ses divisions, de son étendue, surtout en France. (§ 255 à 269.)

6° Indiquez les caractères du lias, ses débris organiques, et donnez les différences caractéristiques des autres divisions. (§ 256 à 267.)

7° Donnez une idée des terrains crétacés, de leurs divisions, des débris organiques qui caractérisent chacune d'elles, et de leur étendue. (§ 270 à 282.)

8° Donnez une idée du terrain parisien, de son étendue, de ses variations, des dépôts subordonnés, des débris organiques. (§ 283 à 288.)

9° Donnez une idée du terrain de molasse, de ses variétés, de ses débris organiques, de ses combustibles. (§ 289 à 294.)

10° Donnez une idée du terrain subapennin, de ses débris marins, des cavernes à ossements. (§ 295 à 301.)

11° Donnez une idée des terrains diluviens et des terrains modernes, des débris organiques, des roches sillonnées, des dépôts erratiques. (§ 303 à 310.)

D. *Sur la quatrième leçon.* — 1° Indiquez les principales roches de cristallisation ou de métamorphisme, et les époques d'apparition des premières à travers les dépôts de sédiment. (§ 311 à 318.)

2° Donnez les traits les plus généraux de la géologie de la France. (§ 322 à 324.)

3° Quels sont les faits les plus généraux sur lesquels on peut se fonder pour déterminer les âges relatifs des principales catastrophes du globe? (§ 325 et 326.)

4° Qu'entendez-vous par système de soulèvement; quelles sont les directions et les positions géographiques des principaux soulèvements en France; quelles en sont les époques relatives? (§ 327 à 333.)

5° Donnez des détails sur quelques-uns de ces soulèvements, sur leur étendue en France et sur le globe en général. (§ 334 à 351.)

6° Donnez quelques détails sur l'état de l'Europe aux époques des principales formations, et sur les animaux qui habitaient alors la terre ou les mers. (§ 352 à 376.)

7° Que pensez-vous du déluge de Moïse, de l'avenir du globe et de la narration de la Genèse? (§ 377 à 381.)

COURS ÉLÉMENTAIRE

DE GÉOLOGIE

NOTIONS PRÉLIMINAIRES

SUR LE GLOBE TERRESTRE.

1° DU GLOBE EN GÉNÉRAL.

§ 1. **Isolement dans l'espace, forme.** — La manière dont les objets se montrent successivement en mer, du moment où ils commencent à paraître à l'horizon jusqu'à celui où ils s'aperçoivent tout entiers, conduit invinciblement à reconnaître que la masse aqueuse du globe est convexe dans tous les sens. L'expédition de Magellan, et tous les voyages faits depuis trois siècles par mer et par terre, confirment en tous points les conséquences de cette première observation, et nous montrent, du moins de l'est à l'ouest, que la terre est complétement isolée dans l'espace. Si les glaces accumulées aujourd'hui vers les pôles ont empêché de faire le tour du globe du nord au sud, la convexité générale qu'on remarque en ce sens dans toute la partie qu'on peut parcourir, l'apparition successive de nouvelles étoiles lorsqu'on va d'un pôle à l'autre, la projection limitée de l'ombre de la terre sur le disque lunaire pendant les éclipses de lune, sont plus que suffisantes pour établir, en toute rigueur, que l'isolement est complet dans ce sens comme dans l'autre. C'est donc pour nous un fait irrévocablement acquis que la terre est un globe isolé de toutes parts dans l'espace. La forme de ce globe est à peu près celle d'un ellipsoïde de révolution, et les montagnes qui se trouvent à sa surface, n'étant rien relativement à son diamètre, en altèrent peu l'uniformité : les plus hautes y produisent en réalité beaucoup moins d'effet que les rugosités qu'on remarque à la surface d'une orange.

§ 2. Le peu de hauteur relative des montagnes est une vérité dont il est nécessaire de se bien pénétrer, pour ne pas donner à ces rides du globe plus d'importance qu'elles n'en ont en réalité. Nous en prenons toujours des idées exagérées, parce que, les voyant de trop près et trop indépendamment de l'étendue de la terre, c'est à tous les objets qui nous entourent que nous les comparons : aussi une montagne de 3000 mètres de hauteur, comme l'Etna, par exemple, nous paraît-elle quelque chose de gigantesque; mais si, comme dans la figure 1, la vue peut embrasser seulement 10 à 12 lieues d'étendue, nous sommes surpris du peu d'effet qu'elle produit : que serait-ce si nous pouvions voir tout un hémisphère!



Fig. 1. *Vue et profil de l'Etna et de la contrée environnante jusqu'au niveau de la mer, en proportions exactes.*

Il résulte de là que, pour tracer le profil des montagnes et y indiquer leur composition, il faut se garder de prendre des échelles différentes pour les hauteurs et les distances, en doublant ou triplant les premières, comme on le fait presque toujours, parce que cette méthode n'est propre qu'à fausser de plus en plus nos idées. A la vérité, il n'est pas possible, dans nos livres, de peindre le relief des montagnes, sans l'exagérer considérablement, ce qui prouve d'une autre manière qu'il est insensible; mais il vaut mieux y renoncer que donner à l'esprit des habitudes qui l'empêcheront toujours de voir juste en cette matière.

§ 3. **Gravitation.** — De l'isolement de la terre dans l'espace découle nécessairement le principe de la tendance de tous les corps vers son centre; car rien ne s'échappe de notre globe pour se porter dans l'immensité, et les corps qui se trouvent accidentellement lancés hors de sa surface y reviennent toujours avec rapidité. Cette tendance de tous les corps au centre de la terre est ce qu'on nomme la *pesanteur*, et l'expression d'*attraction terrestre*, qu'on regarde souvent comme indiquant la cause, réellement inconnue, du phénomène, n'est qu'une autre manière d'énoncer le même fait, qu'on rapporte alors à la terre ; c'est comme si l'on disait : La terre a la propriété d'attirer constamment vers son centre toutes les parties matérielles qui la composent, tous les corps qui sont à sa surface, et tous ceux qui peuvent être placés autour d'elle à distance. L'ensemble des observations permet d'ajouter que l'intensité de cette

action diminue, non pas comme l'augmentation de distance au centre, mais en proportion des carrés de ces distances ; ou, comme on le dit, que la force attractive agit en raison inverse du carré des distances, en s'étendant jusqu'à l'infini.

La terre est donc comme un amas de particules qui seraient réunies et condensées par cette tendance générale de la matière au centre ; et la forme sphéroïdale qu'elle présente semble indiquer qu'en un certain moment les particules ont eu assez de liberté pour glisser les unes sur les autres, et se concentrer sous la condition la plus stable d'équilibre.

§ 4. **Aplatissement vers les pôles.** — Il n'est pas moins constaté, par la mesure directe des portions de méridiens terrestres qui correspondent à un degré de latitude sur différents parallèles, que la terre est aplatie vers les pôles, ou, si l'on veut, renflée à l'équateur. En effet, les arcs mesurés à différentes latitudes vont constamment en augmentant de l'équateur aux pôles, et le calcul montre que le globe terrestre est un sphéroïde qui présente environ 42 kilomètres de différence entre ses deux diamètres[1].

Cette observation ramène encore à l'idée que les particules matérielles du globe n'ont pas toujours été à l'état d'agrégation qu'on observe aujourd'hui ; il faut en effet qu'elles aient eu, à une certaine époque, assez de mobilité pour glisser les unes sur les autres et céder à l'action de la force centrifuge, produite par la rotation diurne, qui a fait gonfler la masse à l'équateur ; c'est après l'effet accompli qu'elles ont dû définitivement se consolider. Il faut donc de toute nécessité admettre primitivement un état pâteux du globe, sauf à chercher ensuite quel en a été l'agent (§ 7).

§ 5. **Variations de densité de la surface au centre.** — La pesanteur diminue graduellement du pôle à l'équateur, d'un côté, parce que les rayons terrestres sont inégaux, et que les corps pèsent moins à mesure qu'ils sont plus éloignés du centre (§ 2) ; de l'autre, parce que la force centrifuge, opposée à l'action de la pesanteur, est nulle aux pôles, situés sur l'axe de rotation, tandis qu'elle atteint son maximum à l'équateur. Cette diminution graduelle est mise en évidence par l'observation du pendule, qu'il faut

---

[1] En calculant les dimensions du sphéroïde capable des arcs mesurés, on trouve que :

Le rayon de l'équateur est de...............	6 376 986 mètres.
Le rayon du pôle..........................	6 356 324 mètres.
Le rayon moyen..........................	6 366 745 mètres.
La surface de..........................	5 094 321 myr. carrés.
Le volume de..........................	1 079 235 800 myr. cubes.

raccourcir successivement sur les différents parallèles, en allant du pôle à l'équateur, pour avoir des oscillatious de même durée. Mais si l'on calcule les effets de l'accroissement de distance au centre et de la force centrifuge, en supposant le globe homogène, on trouve à l'équateur une diminution de pesanteur moindre que celle qui résulte de l'observation directe; et ce n'est qu'en admettant que la densité du globe va successivement en augmentant de la surface au centre, qu'on peut arriver à faire cadrer le calcul avec les résultats de l'expérience. Plusieurs autres phénomènes conduisant à la même hypothèse, on a lieu de penser que le globe est composé de couches concentriques de différentes matières, dont les poids spécifiques, ou densités, sont progressivement croissants. Ceci ne peut provenir encore que d'un état primitif de fluidité assez parfaite pour permettre aux molécules matérielles de se placer dans l'ordre de leurs densités respectives.

§ 6. **Densité moyenne du globe terrestre.** — Newton a été conduit, par l'ensemble des phénomènes astronomiques, à penser que l'attraction était une propriété générale de la matière, et que tous les corps s'attiraient en raison directe de leur masse, et en raison inverse du carré des distances. Cette idée a été depuis vérifiée par la déviation du fil à plomb près des grandes masses de montagnes, et, plus nettement encore, par les expériences de Cavendish au moyen de la balance de torsion.

On a fait servir ces observations à la recherche de la densité moyenne du globe; pour cela, on a déterminé la force attractive des corps dont on a pu évaluer la masse (produit du volume par la densité), on l'a comparée à la force attractive du globe dont on peut avoir approximativement le volume, et par conséquent la masse qui comprend la densité inconnue, que par là on peut déterminer[1]. La densité moyenne a été évaluée par Maskeline à 4,56, que la correction de Playfair porte à 4,7, l'eau étant prise pour unité; mais l'expérience de Cavendish a donné 5,48. Des expériences plus ré-

[1] Cavendish, faisant osciller le levier de la balance de torsion devant deux sphères de plomb qui l'attiraient, a déterminé l'intensité de la force attractive de ces masses. Il l'a comparée alors à l'intensité de la pesanteur déterminée dans le même lieu par les oscillations du pendule. Soient g l'intensité de la force attractive des masses de plomb, G l'intensité de l'attraction terrestre, m la masse des sphères dont le rayon est r, M la masse de la terre du rayon R; on a $g : G :: \frac{m}{r^2} : \frac{M}{R^2}$. Si d est la densité du plomb, D la densité cherchée de la terre, on a $m = \frac{4}{3}\pi r^3 d$ et $M = \frac{4}{3}\pi R^3 D$. De ces relations on tire $D = \frac{Grd}{gR} = 5,48$.

centes et très-nombreuses, faites avec beaucoup de soin par M. Riech, ont donné pour résultat 5,44, et celles de M. Bailly, 5,67. On peut, d'après ces données, calculer approximativement le poids même du globe terrestre, qu'on trouve de 6 259 534 milliards de milliards de kilogrammes. Toutes ces expériences font voir que la densité moyenne du globe est plus grande que celle des matières qui en composent principalement la surface ; car le calcaire, le quartz, le feldspath, qui en sont les éléments principaux, n'ont guère pour poids spécifique que 2,5 : il faut donc que le centre du globe soit occupé par des matières fort pesantes pour arriver à la moyenne que nous venons d'indiquer. L'observation du pendule à de grandes profondeurs fait porter cette densité jusqu'à 12, et en montre ainsi l'accroissement rapide à mesure qu'on descend au-dessous de la surface terrestre.

§ 7. **Chaleur centrale.** — L'observation démontre que les variations de température produites par les saisons ne se font sentir qu'à une faible distance dans l'intérieur de la terre ; elle fait voir aussi qu'à une petite profondeur, variable suivant les lieux, la température du sol est stationnaire et égale à la température moyenne de la localité. Au-dessous de ce dernier point un autre phénomène se présente; la température s'accroît successivement à mesure qu'on descend plus avant, et le résultat des observations faites jusqu'ici donne un accroissement de 1 degré par chaque 33 mètres de profondeur. De là il résulte que vers 3 kilomètres au-dessous du point de température stationnaire, on doit trouver déjà 100 degrés, température de l'eau bouillante ; et que, si la loi se continue régulièrement, on aurait à 20 kilomètres 666 degrés, température à laquelle la plupart des sulfures ainsi qu'un grand nombre de corps sont en pleine fusion. Vers le centre, à 6366 kilomètres, en supposant le même accroissement, on aurait par conséquent une température de 200 000 degrés dont nous ne pouvons nous faire aucune idée ; mais il n'est guère probable que la chaleur s'accroisse toujours uniformément ; il est à croire que bientôt il se fait un équilibre général, et qu'à une profondeur de 150 à 200 kilomètres il s'établit une température uniforme de 3000 à 4000 degrés, la plus forte que nous puissions produire, et à laquelle rien ne résiste.

De ces observations il résulte, non-seulement que la terre aurait été fluide à une certaine époque, comme nous l'avons déduit ci-dessus de sa forme (§ 3), mais même qu'elle le serait encore, et que sa surface seule se serait consolidée, en perdant dans l'espace sa chaleur primitive, sur une épaisseur de 20 à 40 kilomètres, suivant la fusibilité des substances.

§ 8. Cette croûte consolidée est fort peu de chose relativement au rayon terrestre, qui est de plus de 6000 kilomètres. Sur un globle artificiel de 1 mètre de rayon, elle serait proportionnellement de 3 à 6 millimètres, elle ne ferait pas l'épaisseur d'une feuille de papier sur nos globes ordinaires. Or, si de telles enveloppes remplies d'un liquide cinq à six fois plus pesant que l'eau, n'offraient pas plus de ténacité que les matières qui composent l'écorce terrestre, elles ne pourraient évidemment supporter la moindre oscillation dans leur forme. Pourquoi n'en serait-il pas de même de la terre? la faiblesse relative de l'écorce, d'ailleurs fort crevassée, conduit à penser qu'elle ne peut supporter toujours les changements de forme et de volume dont une telle masse incandescente doit être susceptible, surtout quand la température centrale est capable de tout réduire en vapeur à la moindre communication avec une atmosphère de si faible pression relative? Si l'on peut être étonné de quelque chose, c'est que cette disproportion entre l'épaisseur de la croûte solide et le diamètre de la matière liquide ne donne pas lieu à plus de catastrophes qu'on n'en éprouve aujourd'hui à la surface de notre planète.

2° SURFACE DU GLOBE.

§ 9. **Étendue relative des terres et des mers.** — Sur environ 5 millions de myriamètres carrés, ou 50 milliards d'hectares, que présente la surface du globe, les trois quarts à peu près sont formés par les mers, du sein desquelles s'élèvent çà et là des parties solides plus ou moins étendues, qu'on nomme *terres*. C'est autour

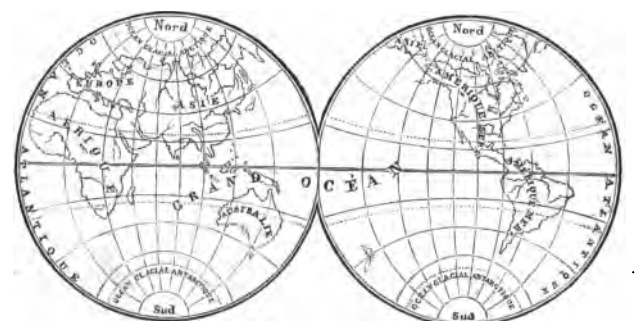


Fig. 2. *Mappemonde sur le méridien de l'île de Fer.*

du pôle nord que les terres sont particulièrement groupées (fig. 2),

elles constituent deux immenses masses, nommées *continents*, découpées irrégulièrement de différentes manières, et qui se prolongent en pointes au delà de l'équateur. Au sud on ne connaît jusqu'à ce jour d'autres grandes terres que l'Australie, ou Nouvelle-Hollande. Çà et là, du reste, il existe, au milieu des mers, une multitude d'*îles*, qui sont tantôt isolées les unes des autres, tantôt rassemblées, sur une faible étendue, en nombre plus ou moins considérable, formant des *groupes*, des *archipels*, et enfin alignées quelquefois suivant certaines directions.

Les contours des terres sont extrêmement irréguliers, découpés de toutes les manières, et souvent très-profondément. Ils présentent ainsi les saillies qu'on nomme *presqu'îles*, *caps*, *pointes*, et les enfoncements désignés sous les noms de *criques*, *anses*, *baies*, *golfes*, *mers intérieures* ou *méditerranées*.

§ 10. Il n'est pas inutile de remarquer que la limite du Grand Océan est formée par une série de montagnes qui, de la pointe sud d'Amérique, s'étendent jusqu'à son extrémité nord, en formant toute la côte occidentale, puis se continuent à travers l'Asie jusqu'à l'extrémité de l'Indoustan, et enfin longent toute la côte orientale d'Afrique. Il résulte de cet ensemble un énorme bourrelet montagneux qui sépare la partie éminemment continentale du globe de la partie la plus maritime : c'est ce qu'on voit immédiatement sur une projection réduite de Mercator, quoique ce ne soit pas encore celle qui convienne le mieux pour faire apercevoir ce fait.

§ 11. **Relief des parties solides.** — La hauteur des terres au-dessus des mers est extrêmement variable. Il y a des îles qui sont à fleur d'eau, et qu'on désigne sous les noms d'*écueils*, de *récifs*, de *vigies* (fig. 3, *a*). D'autres, au contraire, s'élèvent à des hauteurs plus ou moins considérables, tantôt formant dans toute leur étendue un plateau, *b*, dont les bords offrent des pentes plus ou moins rapides; tantôt présentant des plans plus ou moins inclinés qui se réunissent en une arête irrégulière au point *c*, ou bien des cônes, *d*, des surfaces bombées, ondulées, etc., comme en *e*.



Fig. 3. *Formes et élévations de diverses îles.*

Les grandes îles présentent le plus souvent sur leur étendue toutes ces dispositions à la fois, et les continents sont exactement

dans le même cas (fig. 4); on y observe alors toutes les formes, toutes les hauteurs, depuis le niveau des mers jusqu'à 7800 mètres, la plus grande élévation qu'on connaisse aujourd'hui. Les parties diversement saillantes comprennent entre elles des parties plus basses, et l'ensemble constitue un relief extrêmement varié dont les accidents présentent les *plaines*, les *vallées*, les *montagnes*, etc.



Fig. 4. *Groupement des montagnes dans les grandes îles.*

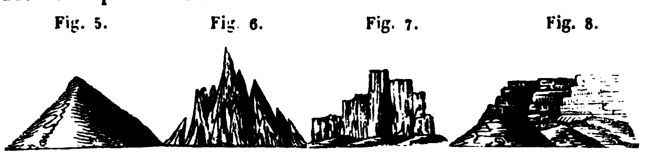
§ 12. **Fond des mers.** — Le fond des mers est aussi très-irrégulier. Quelquefois il est à peu de distance sous les eaux, et constitue des *bancs*, des *hauts fonds :* ailleurs on trouve des profondeurs diverses autour d'un point plus saillant qui indique une montagne sous-marine. Souvent on reconnaît à peu près la même profondeur sur une très-grande étendue, et par conséquent de vastes plaines, dont on trouve aussi successivement plusieurs en gradins les unes au-dessus des autres. Il y a aussi des parties où la sonde descend à 2000, 4000 et même 8000 mètres, et nous indique en conséquence des profondeurs considérables. Près des côtes plates, la mer est peu profonde, et le fond s'abaisse lentement en pente douce, jusqu'à de très-grandes distances; près des côtes escarpées, au contraire, la profondeur est fréquemment considérable, et s'accroît rapidement au large. On voit ainsi que le relief supérieur se continue avec la partie submergée, et enfin que le fond des mers est aussi irrégulier que la surface des continents.

La plus grande profondeur moyenne qu'on puisse supposer aux mers paraît être de 4800 mètres, d'où il résulte que la masse totale des eaux, qui couvre une si grande partie du globe terrestre, ne va pas à 2 millions de myriamètres cubes : c'est un volume infiniment petit relativement à celui de la terre (§ 4, *note*), et qui ne permet guère de concevoir une fluidité aqueuse de notre planète, du moins par les eaux actuelles, qui n'offrent pas la millionième partie de ce qu'il faudrait pour dissoudre une telle masse dans les circonstances les plus favorables qu'on puisse imaginer.

§ 13. **Formes diverses des montagnes.** — On emploie différentes dénominations pour désigner les diverses protubérances du relief que présentent les terres. On nomme *collines* des éminences

peu considérables, mollement arrondies, dont les pentes se confondent doucement avec le sol environnant, pris comme niveau de la contrée. Un *tertre* ou une *butte* est une colline détachée, isolée au milieu de la plaine, ou surmontant tout à coup une colline plus surbaissée et plus large. Un *rocher* est souvent un tertre de matières solidement agrégées, pouvant se soutenir sous toutes les formes, et dont les flancs sont plus ou moins irréguliers, quelquefois à pic. Enfin, sous le nom de *montagnes*, on comprend toujours une masse très-élevée au-dessus du plan qui sert alors de niveau. On conçoit que toutes ces dénominations n'ont rien de nettement déterminé et que leur application est souvent fort arbitraire.

Une montagne, quelle qu'elle soit, s'élève presque toujours en pente douce depuis son pied jusqu'à une certaine hauteur, ce qui tient souvent à l'accumulation de ses débris, qui ont formé des talus plus ou moins inclinés. Plus haut les flancs deviennent plus rapides, tantôt unis, tantôt déchiquetés de toutes les manières, souvent abrupts ou taillés en gradins. Vers le sommet se présentent encore, quelquefois successivement, de nouvelles pentes, des escarpements à pic, des cimes enfin de toute espèce. Les variations que présentent ces différentes parties donnent aux montagnes des configurations diverses, le plus souvent en rapport avec la nature des matières qui les composent, et dont quelques-unes ont reçu des noms particuliers.



Diverses formes de montagnes.

Lorsque le sommet d'une montagne présente une masse conique (fig. 5) plus ou moins rapide, comme on l'observe surtout dans les pays volcaniques, on lui donne le nom de *piton*, de *pic* ou de *puy*, qui s'applique souvent alors à la montagne entière. S'il est arrondi en boule, comme on le voit fréquemment dans les Vosges, il prend le nom de *ballon*. Les sommets terminés en pointes aiguës, en crêtes dentelées (fig. 6), qui appartiennent aux terrains de gneiss (*Minéralogie*, § 171, *note*), élevés à de grandes hauteurs, comme dans les Alpes, prennent le nom d'*aiguilles*, de *dents*, de *cornes*, suivant les aspects qu'ils présentent. On nomme *tour* ou *cylindre* des sommets taillés à pic (fig. 7), qui ressemblent de loin à des fortifications; c'est ce qu'on observe souvent dans les pays calcaires,

dont les montagnes sont aussi caractérisées par des flancs taillés en gradins (fig. 8), par des escarpements formés d'assises horizontales, et par des terminaisons en plateaux.

§ 14. **Massifs découpés par les vallées.** — Les collines ou les montagnes qu'on aperçoit au loin, à l'extrémité d'une plaine, ne sont fréquemment que les flancs d'un plateau plus ou moins élevé au-dessus de celui qu'on occupe soi-même. Or, ces plateaux, et particulièrement ceux qui sont très-élevés, nous offrent encore une circonstance importante à remarquer. Il est rare qu'ils soient entiers dans toute leur étendue, et le plus souvent le massif qu'ils constituent se trouve découpé par des entailles profondes, fréquemment ramifiées, rayonnant en différents sens, qui le partagent de diverses manières en se prolongeant sur le plateau inférieur, où elles viennent déboucher. C'est cette circonstance qui les a fait considérer comme des groupes de montagnes, tandis que, dans le fait, ils ne forment souvent, dans toute leur étendue, qu'une seule et même masse, morcelée par des vallées plus ou moins nombreuses. Les plates-formes des différentes pièces dont ils paraissent composés, tantôt entièrement séparées, tantôt réunies par des lambeaux irréguliers, se trouvent sensiblement sur un même plan, et les couches qui composent la masse se correspondent sur les pentes des ravins qui les sillonnent. Quelquefois aussi le massif se trouve divisé par des vallées rayonnantes qui se réunissent en un point central où se présente un vaste enfoncement; on remarque alors sur le bord de ce bassin, des montagnes plus ou moins élevées, qui ne sont que les extrémités des masses partielles dans lesquelles le massif total se trouve partagé.

§ 15. **Chaînes de montagnes.** — Il existe aussi, parmi les protubérances de la surface du globe, des dispositions allongées qui s'étendent à de grandes distances, et qu'on donne le plus souvent encore comme le résultat d'un groupement de montagnes à la file les unes des autres : c'est ce qu'on nomme les *chaînes de montagnes*. On dépeint souvent une chaîne, pour la représenter dans sa plus grande simplicité, comme formée par deux plans inclinés réunis en une arête, tels que sont les deux pentes d'un toit; mais cette simplicité, tout au plus applicable à quelques rides allongées de la surface terrestre, est tout idéale, et dans la réalité il y a plus de complication. On a comparé plus heureusement une chaîne de montagnes à une arête de poisson; en effet, on y observe une *masse centrale* dirigée suivant une certaine ligne, et des *branches latérales* ou *chaînons*, à peu près perpendiculaires à la direction générale, qui se correspondent de part et d'autre, et s'avancent à

des distances plus ou moins grandes. Ce n'est qu'aux extrémités d'une chaîne que les branches deviennent divergentes et forment ce qu'on nomme la *patte d'oie*, caractère qu'il est bon de remarquer, en ce qu'il assigne des limites locales aux phénomènes qui ont produit ces dispositions de montagnes.

Les branches d'une chaîne sont le plus souvent divisées comme la chaîne elle-même; elles présentent des *rameaux* perpendiculaires à leur direction et divergents à l'extrémité. Ces rameaux se subdivisent encore, et souvent il en est de même de leurs différentes parties, pour ainsi dire à l'infini.

Généralement le centre de la chaîne est la partie la plus élevée, et les branches latérales s'abaissent successivement jusqu'à leur extrémité ; on peut en dire autant des rameaux relativement aux branches. Cependant il arrive fréquemment que, dans certaines parties d'une branche ou d'un rameau, quelquefois à l'extrémité, le terrain se relève brusquement, et même à une hauteur plus grande que partout ailleurs.

On remarque aussi que les pentes sont rarement égales sur les deux versants d'une chaîne; c'est ce qu'on observe dans le Jura, dont les pentes sont extrêmement douces du côté de la France, et pour ainsi dire abruptes vers la Suisse; dans les Pyrénées, où les pentes sont généralement plus rapides du côté de l'Espagne que du côté de la France ; dans les Alpes, dans les Vosges, et mieux encore dans les Andes, qui s'inclinent si rapidement du côté de l'océan Pacifique, etc.

Le faîte d'une chaîne présente ordinairement une ligne plus ou moins onduleuse dans toute son étendue. Son élévation est aussi extrêmement variée : ici les sommets se portent brusquement jusqu'à plusieurs milliers de mètres; là ils restent à quelques centaines seulement, et ailleurs ils prennent toutes les hauteurs intermédiaires de manière à produire les plus grandes inégalités. C'est en général à l'endroit où se rattachent deux branches latérales opposées que se trouvent les plus grandes hauteurs, et entre deux branches voisines il existe le plus souvent une grande dépression qu'on nomme *col*. Nous reconnaîtrons plus tard à quoi tiennent toutes ces circonstances quand nous aurons acquis des données suffisantes sur la composition et la formation des montagnes.

§ 16. **Croisement des chaînes.** — Les chaînes de montagnes sont nombreuses à la surface du globe, et dirigées dans tous les sens; d'où il arrive qu'en certains lieux elles se coupent mutuellement de toutes les manières, et forment des réseaux plus ou moins compliqués. Les points de croisement, qu'on nomme *nœuds*, pré-

sentent souvent des élévations subites beaucoup plus considérables que partout ailleurs.

Quelquefois plusieurs chaînes marchent à peu près parallèlement, et l'espace qu'elles laissent entre elles offre une vaste plaine élevée dont elles forment les limites. Un des plus beaux exemples de cette disposition est fourni par les chaînes de Mouztagh et de Koueuloun, par le Katchi et l'Himalaya, au centre de l'Asie; les Alpes et le Jura, qui laissent entre eux les plaines de la Suisse, en sont un faible exemple en Europe.

§ 17. Les chaînes, en se croisant de toutes les manières, forment ce qu'on nomme en géographie des *systèmes de montagnes*, auxquels se rapporte la topographie des diverses contrées ; mais ces prétendus systèmes, auxquels l'imagination a fréquemment ajouté, n'offrent souvent que peu d'importance sous les rapports géologiques, si on les considère isolément. Nous verrons qu'il faut y ajouter des considérations particulières qui conduisent à des idées d'un ordre plus élevé, et qui se lient aux grands phénomènes dont le globe terrestre a dû être le théâtre (§ 329 à 351). Ces faits conduisent à reconnaître que les chaînes du même ordre sont placées à la surface du globe de manière à se trouver sur un grand cercle, ou parallèlement, et à occuper la moitié de sa circonférence. Les chaînes d'un autre ordre sont disposées sur un grand cercle différent, plus ou moins incliné sur le premier, etc. Citons quelques exemples : si l'ou veut jeter les yeux sur un globe, on verra que les Alleghanys, les Pyrénées, les Apennins, les montagnes de la Croatie, les Karpathes, le Zagros de la Perse, les Ghates du Malabar, sont autant de chaînes qui offrent la même direction, et sont toutes parallèles à un grand cercle qui passerait par la première. Si l'on considère la partie des Alpes qui se dirige du Valais en Autriche, on verra qu'un grand nombre d'autres chaînes lui sont parallèles, telles que les montagnes de l'Espagne, le Taurus, le Caucase, l'Atlas, le Balkan et les chaînes qui viennent à travers la Perse se lier à l'Himalaya (§ 351, fig. 373).

§ 18. **Caractères des vallées.** — On nomme *vallées* les espaces vides qui séparent les différentes parties d'un massif, les diverses branches d'une chaîne, ou enfin deux chaînes elles-mêmes.

Considérées dans une chaîne, les vallées sont, comme les chaînons, perpendiculaires à la direction générale, et se nomment *vallées transversales*, parce qu'elles coupent les chaînes en travers. A ces vallées viennent aboutir perpendiculairement les *vallons*, qui séparent les rameaux de chaque branche, comme à ces vallons viennent se rendre les *gorges* diverses qui séparent les subdivisions.

Les grands espaces situés entre deux chaînes sont fréquemment nommés *vallées longitudinales ;* c'est là que viennent déboucher, à peu près à angle droit, les vallées transversales qui se trouvent de part et d'autre.

Les vallées des grands massifs, ou des grandes chaînes, sont quelquefois étroites, profondes et à parois escarpées ; c'est ce qui est surtout remarquable dans les hautes régions de l'Asie centrale et de l'Amérique équatoriale, où certaines vallées présentent des fissures verticales effroyables, de 1500 à 2600 mètres de profondeur, fréquemment si étroites qu'il suffit de quelques blocs roulés en travers pour y former des ponts naturels. Ces fissures abruptes forment généralement un caractère des pays à plateaux élevés, où toutes les rivières sont fortement encaissées ; non-seulement on les observe en Asie et en Amérique, mais la presqu'île scandinave nous en offre encore de beaux exemples, quoique la hauteur des parois soit moins considérable ; la Croatie, la Carniole, nous en présentent également, quoique sur une échelle moins étendue.

Cette configuration n'est cependant pas celle que présentent le plus ordinairement les vallées ; presque toujours il arrive que leurs pentes, quoique fréquemment escarpées, deviennent du moins abordables en divers points ; leurs fonds et leurs flancs peuvent souvent recevoir des habitations, et des chemins qui servent de passages habituels à travers les montagnes.

Nous avons fait remarquer que les branches latérales d'une chaîne se correspondent de chaque côté du faîte ; il en est de même des vallées, et il arrive généralement qu'après en avoir suivi une sur l'un des versants, on en trouve une autre au sommet pour descendre sur le versant opposé ; cette correspondance a lieu par l'échancrure que nous avons indiquée entre les sommets qu'on observe à la correspondance des chaînons (§ 15). Ce sont ces échancrures qu'on nomme *cols* dans certaines localités, *passages* ou *ports* dans d'autres, et quelquefois *brèches.*

§ 19. On juge presque toujours, en parcourant une vallée, qu'elle va en s'élargissant de sa partie supérieure à son extrémité ; mais c'est une pure illusion, qui tient à ce qu'on prend, dans le haut, le pied de l'escarpement pour point de départ, sans faire attention à l'écartement des sommités. La véritable forme est précisément inverse, c'est-à-dire plus étroite dans le bas que dans le haut, ce qu'on voit clairement en l'observant de ces sommités mêmes.

Les vallées présentent sur leur longueur des évasements et des étranglements successifs ; leur fond offre souvent des alternatives de pentes douces et de pentes rapides, ou même des parties abruptes,

et celles-ci correspondent aux étranglements, tandis que les autres se montrent là où la vallée s'élargit. Il en résulte qu'une vallée se compose souvent d'une série d'amphithéâtres ou de bassins placés les uns au-dessus des autres, et qui communiquent entre eux par des passages étroits dont le sol présente une pente rapide ou un escarpement. Souvent il arrive que, dans la partie supérieure, la vallée se termine par un cirque dont les parois sont à pic, et dont le centre est quelquefois occupé par un lac.

§ 20. Les vallées longitudinales, par lesquelles les grands fleuves s'écoulent, présentent fréquemment les mêmes caractères ; elles offrent aussi de grands bassins successifs, qui communiquent entre eux par une échancrure plus ou moins profonde des montagnes qui les entourent, et dans laquelle le fleuve se trouve tout à coup resserré. C'est ainsi que le Rhin, après être sorti du lac de Constance, qui forme son premier bassin, traverse les montagnes qui lient le Jura et la Forêt-Noire, où il est bordé et obstrué par les rochers. Arrivé à Bâle, il passe, en changeant de direction, dans le vaste bassin d'Alsace ; puis à Bingen, après avoir serpenté dans la plaine, il coupe les montagnes de l'Eiffel, qu'il traverse par une gorge étroite qui ne laisse guère que son passage, et dont il sort à Coblentz. Le Rhône, le Danube, l'Elbe et un grand nombre de fleuves sont exactement dans le même cas ; et ce qui étonne surtout dans ces accidents, c'est que le plus souvent la communication d'un bassin à l'autre se fait à travers les parties les plus élevées, comme aussi les plus solides, des montagnes qui les entourent. Cette circonstance s'oppose à l'idée de digues rompues par le seul poids des eaux ; car s'il en était ainsi, il est clair que la rupture se serait faite au point le plus bas de l'enceinte, comme aussi dans les parties les moins résistantes.

§ 21. Les passages bordés d'escarpements à pic, que présentent les vallées en divers points, prennent en général le nom de *défilés*, et souvent aussi de *portes des nations*, parce qu'ils ont fréquemment séparé des peuplades qui y trouvaient une défense facile, comme à la porte d'une muraille. Il en est qui sont célèbres dans l'histoire ; tels sont les défilés du Taurus et du Caucase, connus sous les noms de Porte Ibérienne, Porte Caspienne, Porte Albanienne, Passe d'Issus, célèbre par le passage d'Alexandre ; telles sont encore les Thermopyles, où les 300 Spartiates arrêtèrent l'armée de Xerxès ; les Fourches Caudines, où les Samnites forcèrent les Romains à passer sous le joug, etc. Les parois de ces passages taillés à pic ont quelquefois des hauteurs considérables ; il y en a dans les Andes qui s'élèvent jusqu'à 1600 mètres.

§ 22. **Écoulement des eaux.** — C'est par les vallées que s'écoulent les eaux produites par les brouillards, les pluies, la fonte des neiges. Ces eaux se rassemblent dans les gorges, les vallons, les vallées transversales, et forment les torrents, les ruisseaux, les rivières et les fleuves, pour se rendre à la mer ou dans quelque grand lac. Ces courants présentent dans leur marche des circonstances complétement en rapport avec celles des vallées par lesquelles ils se dirigent; ils sont d'une rapidité effrayante dans les parties où les vallées se rétrécissent, et reprennent un cours lent et tranquille là où elles s'élargissent, en y formant quelquefois des lacs plus ou moins étendus. Les pentes rapides, les escarpements, produisent sur ces courants ce que l'on nomme *rapides*, *sauts*, *chutes*, *cascades* et *cataractes*, dont tous les pays de montagnes nous offrent des exemples.

§ 23. **Plaines situées à diverses hauteurs.** — On nomme plaine tout espace sensiblement uni, n'offrant que des ondulations peu marquées relativement à son étendue. Il en existe à toutes les hauteurs depuis le niveau des mers jusqu'au milieu des montagnes les plus élevées. On les distingue en *plaines basses* et en *plaines hautes* ou *plateaux*, sans qu'on puisse fixer positivement où finissent les unes et où commencent les autres, tant il y a de hauteurs intermédiaires. C'est en quelque sorte par des plaines successives, et comme de terrasse en terrasse, que s'élèvent principalement les continents au-dessus de l'Océan; les grandes chaînes qui les traversent ne sont, pour ainsi dire, que des accidents au milieu des terrains plats élevés, comme on le voit, par exemple, sur le plateau central de la France, dans les montagnes de la Margeride et de la Lozère, qui dominent toute la contrée.

Parmi les plaines basses, on peut citer, sur les confins de l'Europe, les steppes de Kirghiz, où 1800 lieues carrées de pays se trouvent au niveau de l'Océan, ou même au-dessous, car Astrakan et tous les bords de la Caspienne se trouvent plus bas que le niveau de la mer Noire. C'est la plus vaste dépression que nous connaissions; car la mer Morte, et les plaines environnantes, qui sont également au-dessous de la Méditerranée, ne peuvent être mises en comparaison. Ces plaines se lient par des pentes insensibles à celles de l'Ukraine et de la Lithuanie, jusqu'à celles du Holstein, du Jutland, etc., de manière à offrir en Europe une immense étendue de pays plats. Toutes les parties du monde offrent également des plaines basses très-considérables, et l'Amérique renferme peut-être les plus vastes du globe, comme celles où se dessinent les nombreuses ramifications de l'Amazone, de la Plata, etc.

§ 24. Les plaines hautes les plus élevées au-dessus des mers se trouvent au centre de l'Asie, où elles ne le cèdent en rien aux plaines basses des autres continents. Celles qui forment la haute vallée comprise entre la chaîne du Kouenloun et celle de l'Himalaya, et qui constituent le Tibet proprement dit, se trouvent à 3600 mètres au-dessus du niveau des mers. C'est la plus haute que nous connaissions, car toutes celles qu'on avait confondues sous le nom général de plateau du Tibet sont beaucoup plus basses; l'immense désert de Cobi, entre le Kouenloun et la chaîne volcanique de Thian-Chan, n'a pas plus de 1200 mètres dans ses parties les plus élevées. En Amérique, le plateau de Quito se trouve à 3000 mètres d'élévation, et celui du Mexique à 2000. Ce dernier, qui a 50 lieues de large, se prolonge à 150 lieues vers le nord sans presque subir d'abaissement. Nous n'avons rien de comparable en Europe, ni pour l'étendue ni pour la hauteur, et cependant on peut citer le plateau qui couronne les montagnes de la presqu'île scandinave, les plateaux de la Croatie et de la Carniole, ceux des Ardennes, du Limousin et de l'Auvergne, des Cévennes, etc., qui en sont du moins des exemples en petit.

§ 25. **Distribution de la chaleur à la surface du globe.** — Si la surface terrestre était partout homogène, la distribution de la chaleur y serait déterminée par les latitudes, le mouvement du soleil et les phénomènes qui en sont la suite. Les lignes qui joindraient les points d'égale température, en quelque partie de l'année que ce fût, seraient toutes parallèles entre elles et se confondraient avec les parallèles terrestres; mais il n'en peut être ainsi pour une surface composée de parties hétérogènes, de terres et de mers, qui agissent différemment par leurs pouvoirs émissifs et absorbants. Les configurations de ces parties, leurs positions, leurs étendues relatives, la hauteur des terres au-dessus des eaux, la nature du sol, l'abondance ou l'absence de la végétation, etc., changent nécessairement la distribution théorique, et c'est par l'observation seule qu'on peut reconnaître ce qui en advient.

Forme des lignes thermales. — Les recherches de M. de Humboldt font voir que, dans l'état actuel de la terre, les lignes d'égale température ne conservent le parallélisme entre elles et à l'équateur que dans le voisinage de la zone torride. A partir à peu près du trentième parallèle, ces courbes se relèvent vers les pôles, et plus ou moins suivant le degré de chaleur auquel elles correspondent, ce qui fait qu'elles sont plus ou moins inclinées entre elles. Cela se fait dans l'hémisphère boréal par deux inflexions dont l'une porte les sommets convexes des courbes sur l'Europe occidentale, et

l'autre les seconds sommets du même genre sur la côte occidentale d'Amérique; les sommets concaves se forment d'une part en Asie, et de l'autre sur la côte orientale de l'Amérique. C'est ce qui résulte surtout du tracé des lignes d'égale température moyenne annuelle, qu'on nomme plus spécialement *lignes isothermes*.

Les autres lignes d'égale température moyenne de tel ou tel point de l'année se comportent de même, en oscillant autour des précédentes; mais les *lignes isochimènes* et *isothères* (d'égal hiver et d'égal été) s'écartent encore plus des parallèles terrestres : les premières, comme les lignes isothermes, d'autant plus qu'on se porte davantage à l'est; les secondes, exactement en sens contraire. C'est vers les sommets convexes des lignes isothermes que se trouvent les plus petites différences entre les saisons; vers les sommets concaves, au contraire, il s'en manifeste d'énormes, comme de -12^d à $+19^d$, de -17^d à $+13^d$, etc.

§ 26. *Froids des parties orientales des continents.* — Ces dispositions des lignes thermales sont l'expression de divers faits remarquables dans la physique actuelle du globe : elles montrent que les parties orientales des deux grands continents sont aujourd'hui plus froides que les parties occidentales, comme on le voit au Labrador et au Canada d'un côté, et en Sibérie de l'autre. Sur l'ancien continent la température moyenne annuelle diminue de plus en plus sur un même parallèle à mesure qu'on s'avance de plus en plus vers l'est, comme on le voit dans le tableau ci-dessous :

Lieux.	*Latitudes.*	*Longit. orient.*	*Température moyenne.*
Amsterdam.	52° 22′	2° 30′	$11^d,9$
Varsovie.	53° 14′	18° 43′	$8^d,2$
Copenhague.	55° 41′	10° 15′	$7^d.6$
Moscou.	55° 45′	35° 12′	$4^d,6$
Kasan.	55° 48′	46° 44′	$1^d,3$
Christiania	59° 56′	8° 28′	$6^d,0$
Upsal.	59° 51′	15° 18′	$5^d,6$
Pétersbourg.	59° 58′	27° 59′	$3^d.8$
Tobolsk.	58° 12′	65° 58′	$0^d.6$

Il en est de même en Amérique, où le climat est beaucoup plus doux à l'ouest des Alleghanys qu'à l'est. Les deux continents offrent de même, entre leurs côtes, des différences considérables : ainsi le Labrador, le Canada, les États-Unis sont beaucoup plus froids que la Scandinavie et toute la côte européenne, comme on le voit dans les exemples suivants :

AMÉRIQUE ORIENTALE.			EUROPE OCCIDENTALE.		
Lieux.	*Latitude.*	*Température moyenne.*	*Lieux.*	*Latitude.*	*Température moyenne.*
Naïn.	57° 8'	3d,1	Stockholm.	59° 20'	5d.7
Québec.	45° 47'	5d,6	Nantes.	47° 13'	12d,6
New-York.	40° 40'	12d,1	Naples.	40° 50'	17d,4

§ 27. *Froid de l'intérieur des continents.* — L'intérieur des grands continents est généralement plus froid que les côtes, les îles, ou les contrées avancées en pointes au milieu des mers. En Bretagne, en Écosse, en Irlande, etc., on cultive en pleine terre les plantes du midi, et les hivers sont plus doux qu'à Milan et dans toute la Lombardie; mais par la même cause les étés sont moins chauds, fréquemment brumeux, pluvieux, et quelquefois même neigeux. Dans les îles des mers australes on trouve des fougères arborescentes, des palmiers, toutes les plantes des pays chauds, jusqu'à des latitudes de 53d, tandis qu'il n'en existe pas traces sur les continents du nord, et qu'il faut remonter jusqu'aux tropiques pour les retrouver. Voici quelques exemples :

CLIMAT CONTINENTAL.					CLIMAT MARITIME.				
Lieux.	*Latit.*	*Temp. moy.*	*Hiver.*	*Été.*	*Lieux.*	*Latit.*	*Temp. moy.*	*Hiver.*	*Été.*
Bude.	47° 29'	10d,6	— 0d,6	21d.4	Nantes.	47° 13'	12d,6	4d,7	18d,8
Vienne.	48° 12'	10d,3	+ 0d,4	20d,7	St. Malo,	48° 39'	12d,1	5d,7	18d,9
Kasan.	55° 48'	3d,1	—16d,6	18d,8	Édimb.	55° 57'	8d,8	3d,7	14d,6

§ 28. *Climats extrêmes.* — Les directions inverses des lignes isochimènes et isothères nous donnent ces climats extrêmes, où à des hivers rigoureux succèdent des étés brûlants; c'est ainsi qu'à New-York, par 40° 40', on trouve les hivers de la Norvége et les étés de l'Italie; à Moscou, à Kasan, on trouve les hivers de la Laponie et les étés de la Touraine; à Pékin, par 39° 54', on a les hivers d'Upsal et les étés du Caire. Voici des exemples en chiffres :

Lieux.	*Latitude.*	*Température moyenne.*	*Moy. d'hiver.*	*Moyenne d'été.*
Pékin.	39° 54'	17d,7	— 3d,1	28d,1
New-York.	40° 40'	12d,1	— 1d,2	26d,2
Québec.	46° 47'	5d,6	— 9d,9	20d,0
Zurich.	47° 22'	8d,8	— 1d,2	17d,8
Bude.	47° 29'	10d,6	— 0d,6	21d,4
Prague.	50° 5'	9d.7	— 0d,3	20d,5
Gœttingue.	51° 32'	8d,3	— 0d,9	18d,2
Varsovie.	52° 14'	9d,2	— 1d,8	20d.6
Moscou.	55° 45'	4d,6	— 11d,8	19d,5

Toutes ces circonstances thermales sont le résultat de l'arrangement actuel des terres et des mers, et il est évident que quelques

changements dans leur étendue, leur forme, leurs dispositions relatives, leur nature, en amèneraient aussi dans toutes les lignes isothermes. La réduction de nos continents du nord en îles éparses au milieu des mers, amènerait partout des températures moins différentes entre l'été et l'hiver, et, tout en rendant nos climats plus brumeux, entraînerait une végétation semblable à celle des terres australes.

PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES DE L'ÉPOQUE ACTUELLE.

1° TREMBLEMENTS DE TERRE.

§ 29. **Description du phénomène.** — Chacun a entendu parler du terrible fléau qui, en un instant, fait un monceau de ruines des plus florissantes cités, et bouleverse parfois tout le sol environnant. Son apparition est souvent précédée par des bruits sourds, des roulements souterrains, qui fréquemment se font entendre longtemps avant la catastrophe à laquelle ils préludent. Des trépidations plus ou moins violentes se font ensuite sentir pendant quelques secondes, ou quelques minutes seulement, et souvent se succèdent un certain nombre de fois avec plus ou moins de rapidité et plus ou moins de force: dans certains cas même, elles se continuent à divers intervalles pendant plusieurs jours, plusieurs mois, et même des années entières. Ces mouvements du terrain sont de diverses sortes; tantôt ce sont des oscillations horizontales saccadées, plus ou moins rapprochées, tantôt des secousses verticales, c'est-à-dire des soulèvements rapides et des affaissements successifs du sol ; ailleurs, ce sont des tournoiements divers. Souvent toutes les espèces d'ébranlements se réunissent à peu près dans le même temps, et rien alors ne peut échapper à la dévastation.

Quelquefois un tremblement de terre se trouve circonscrit dans un espace assez resserré : par exemple, celui qui eût lieu à l'île d'Ischia, le 2 février 1828, ne fut ressenti en aucune manière ni dans les îles voisines ni sur le continent. Dans d'autres cas il ébranle une surface immense : témoin celui de la Nouvelle-Grenade, du 17 juin 1826, qui exerça son action sur plusieurs milliers de myriamètres carrés. Ailleurs il se propage à des distances énormes, comme le fameux tremblement de Lisbonne en 1755, qui s'étendit jusqu'en Laponie d'une part, et jusqu'à la Martinique de l'autre; il

se fit sentir en travers de cette direction du Groënland en Afrique, où Maroc, Fez, Méquinez furent détruites : l'Europe entière en éprouva les effets au même moment. Généralement on peut reconnaître, dans les narrations diverses, beaucoup d'exemples de propagation du même genre sur des longueurs plus ou moins considérables, et des largeurs diverses. On peut même conclure, de l'exposé et de la comparaison des faits, que l'ébranlement s'est souvent étendu suivant un grand cercle, plus ou moins incliné sur l'équateur, et occupant peut-être tout un hémisphère.

§ 30. **Effets des tremblements de terre.** — Non-seulement les tremblements de terre renversent souvent des cités entières avec les édifices les plus solidement établis, mais encore ils font subir au sol même d'importantes modifications. Ceux de la Calabre, en 1783, nous en fournissent des exemples d'autant plus précieux que les faits ont été décrits par les hommes les plus distingués du temps, tels que Vicencio, médecin du roi de Naples, Grimaldi, Hamilton, etc., et enfin, par une commission de l'Académie royale de Naples. Tout fut bouleversé dans ce malheureux pays; le cours des rivières fut interrompu et changé; des maisons furent soulevées au-dessus du niveau de la contrée, tandis que d'autres, souvent à peu de distance, s'enfoncèrent plus ou moins; des édifices d'une grande solidité furent lézardés du haut en bas; certaines parties en furent élevées au-dessus des autres, et les fondations poussées hors de terre. Le sol s'entr'ouvrit de toutes parts, souvent en longues crevasses, dont quelques-unes avaient jusqu'à 150 mètres de large; il y en avait d'isolées, quelquefois bifurquées et montrant fréquemment d'autres fissures perpendiculaires à leur direction (fig. 9); quelquefois on voyait une série de crevasses parallèles, et dans d'autres

Fig. 9.

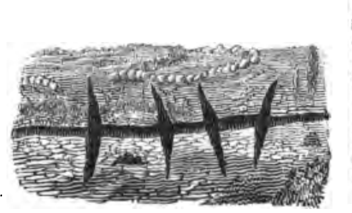
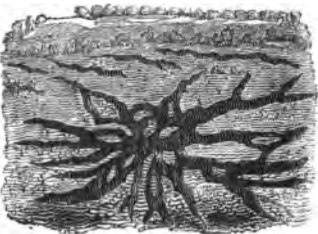


Fig. 10.

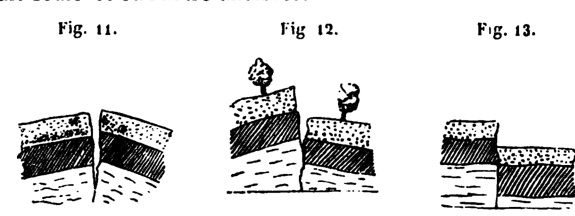


Crevasses produites par les tremblements de terre.

cas elles se réunissaient en rayons divergents autour d'un centre, comme une vitre brisée (fig. 10). Certaines crevasses ouvertes au

moment de la secousse, se refermaient subitement, en broyant entre leurs parois les habitations qu'elles venaient d'engloutir; d'autres restaient invariablement béantes après la commotion, ou bien, commencées par un premier ébranlement, s'élargissaient par les suivants. Dans un cas comme dans l'autre on observa tantôt que les deux bords de la fente se trouvaient sur le même plan, ou plutôt qu'il s'y manifestait un bombement plus ou moins saillant (fig. 11); tantôt qu'une des parties était beaucoup plus haute (fig. 12 et 13), de manière à montrer nécessairement que l'une d'elles s'était soulevée ou l'autre affaissée.

Fig. 11. Fig. 12. Fig. 13.



Changements de niveau produits par les tremblements de terre.

Ailleurs, il arriva que des étendues plus ou moins considérables de terrain s'enfonçèrent tout à coup, entraînant plantations et habitations, et laissant des gouffres à parois verticales de 80 à 100 mètres de profondeur. Dans certains cas, on vit surgir immédiatement du fond de ces cavités une immense quantité d'eau; et il en résulta des lacs plus ou moins considérables, tantôt sans écoulement apparent, et tantôt fournissant d'énormes torrents. Dans d'autres cas, au contraire, des ruisseaux furent absorbés par les crevasses du sol, où ils s'engouffrèrent, soit pour un temps, soit pour toujours.

Enfin, si la principale action des tremblements de terre eut lieu sur le continent entre Oppido et Soriano, les phénomènes se manifestèrent aussi jusqu'à Messine, à travers le détroit; plus de la moitié de la ville fut détruite, et vingt-neuf bourgs et villages furent engloutis. Le fond de la mer s'abaissa et fut bouleversé en diverses places; le rivage fut déchiré par des fentes, et tout le sol, le long du port de Messine, s'inclina vers la mer en s'affaissant subitement de plusieurs décimètres; tout le promontoire qui en formait l'entrée fut en un instant englouti.

§ 31. Outre les crevasses diverses, les affaissements qui se manifestèrent dans ces catastrophes, les gouffres qui interceptèrent les eaux, ou qui en fournirent de nouvelles, il arriva aussi que des

masses de roches, tombant en travers des vallées, en arrêtèrent les eaux, qui bientôt formèrent des lacs dans la partie supérieure. Or, ces eaux accumulées se frayèrent de nouveaux passages, soit en rompant les flancs de la vallée dans d'autres points, soit en élargissant quelques fissures des montagnes, ou enfin en dégradant l'obstacle qui les avait retenues, et le renversant en tout ou en partie. De là des débâcles épouvantables, des torrents impétueux roulant des quartiers de rocs énormes, dont le ravage devint aussi désastreux que les commotions elles-mêmes, et qui, se creusant de nouveaux lits, élargissant ou approfondissant ceux que les eaux suivaient auparavant, marquèrent leur passage par les débris qu'ils roulaient et déposaient successivement.

§ 32. **Soulèvements et affaissements divers.** — Les tremblements de terre qui ont eu lieu sur les côtes du Chili, en 1822, 1835 et 1837, ont produit des effets non moins remarquables. Diverses parties de la côte, depuis Valdivia jusqu'à Valparaiso, c'est-à-dire sur une étendue de plus de 200 lieues, se sont manifestement élevées au-dessus des eaux, ainsi que plusieurs îles voisines, et jusqu'à celle de Juan-Fernandez; tout le fond de la mer, jusqu'à une distance considérable, participa au même phénomène. Sur les côtes, des rochers jadis cachés sous l'eau se sont élevés de 2 à 3 mètres au-dessus de son niveau avec les coquillages qui vivaient à leur surface; des rivières qui débouchaient sur ces côtes sont devenues guéables là où de petits bricks pouvaient autrefois naviguer; en mer, des mouillages bien connus ont diminué de profondeur dans la même proportion, et divers points où l'on passait facilement opposent aujourd'hui des hauts-fonds aux bâtiments qui tirent beaucoup d'eau.

Des circonstances analogues se sont manifestées dans l'Inde en 1819; une colline de 20 lieues de longueur sur 6 de largeur s'éleva du sud-est au nord-ouest, au milieu d'un pays jadis plat et uni, en barrant le cours de l'Indus. Plus loin, au contraire, au sud et parallèlement à la même direction, le pays s'affaissa, entraînant le village et le fort de Sindré, qui resta néanmoins debout, à demi submergé. L'embouchure orientale du fleuve devint plus profonde en plusieurs points, et diverses portions de son lit autrefois guéables cessèrent tout à coup de l'être.

Les narrations de tous les temps, de tous les lieux, nous présentent des faits exactement du même genre. Partout il est question de crevassements du sol, de gouffres profonds dans lesquels des cités, des contrées entières s'engloutissent, d'où s'élèvent des gaz méphitiques, des masses énormes d'eau, tantôt froides, tantôt chaudes,

quelquefois même des flammes. Ailleurs, ce sont des plaines tout à coup transformées en montagnes, des bas-fonds soulevés au milieu des mers, des montagnes crevassées, bouleversées, des terrains montueux, des centaines de lieues de rochers tout à coup aplanis et remplacés par des lacs. Des cours d'eau sont détournés, engouffrés dans la terre; des lacs se dessèchent en renversant leurs digues, ou se perdent dans des conduits souterrains formés tout à coup. Par opposition, il se manifeste ailleurs d'énormes sources, véritables puits artésiens, qui produisent de nouveaux ruisseaux sortant subitement du rocher par une crevasse, ou par un entonnoir. Des sources thermales sont à l'instant refroidies ou taries; d'autres, au contraire, se manifestent là où il n'en existait pas. Tous ces phénomènes sont autant d'indices des fissures qui se forment dans le sol, et qui fournissent de nouveaux conduits aux eaux qui pouvaient y circuler auparavant.

Les effets divers que les tremblements de terre ont produits sous nos yeux, et ceux qui se trouvent dans les relations les plus authentiques, tendent à donner toute probabilité à ce qui nous est transmis des temps les plus reculés, quoique souvent nous puissions être conduits à indiquer les faits en d'autres termes. Qui oserait porter aujourd'hui un démenti formel à Pline rapportant, selon les historiens, que la Sicile fut séparée de l'Italie par un tremblement de terre, que l'île de Chypre fut séparée de même de la Syrie, et celle d'Eubé (Négrepont) de la Béotie, etc. ? Nous ne saurions même nier positivement l'existence de l'Atlantide ensevelie sous les eaux, suivant les traditions égyptiennes, en un jour et une nuit. Disons mieux, l'ensemble des observations que nous avons à faire connaître, montre évidemment que des affaissements et des soulèvements immenses ont fait longtemps partie du mécanisme de la nature, pour arriver à la configuration que nous voyons aujourd'hui à la surface du globe.

§ 33. Relativement aux côtes de la mer, les phénomènes sont souvent exprimés par les auteurs d'une manière particulière; rarement on trouve explicitement l'énoncé d'un soulèvement, et c'est en d'autres termes que l'événement est indiqué, en rapportant l'effet à l'élément le plus mobile. C'est ainsi que les auteurs annoncent tantôt que la mer s'est retirée plus ou moins loin, laissant son lit à sec, soit pendant quelques instants, soit d'une manière permanente; tantôt, au contraire, qu'elle a envahi tout à coup des côtes plus ou moins élevées. Nous traduisons ces indications par les expressions *oscillation du sol*, si le phénomène n'est que passager, et par celles e *côtes soulevées*, ou de *côtes affaissées*, s'il est permanent, parce que

nous rapportons ces effets aux parties solides du globe, et non à la mer, dont le niveau est invariable (§ 34). Il faut cependant distinguer, car, si ces phénomènes passagers peuvent être attribués quelquefois à des oscillations du sol, ils peuvent provenir aussi d'un mouvement réel imprimé aux eaux de la mer, et tenir peut-être à l'une et à l'autre cause. Nous savons, en effet, que pendant les tremblements de terre, la mer, perdant tout à coup sa surface d'équilibre, se trouve soumise à de violentes oscillations, que ses eaux font alors d'affreuses irruptions dans les terres, s'avançant et se retirant tour à tour, et portant la dévastation sur un espace plus ou moins considérable. Ces mouvements impétueux d'aller et retour, se joignant aux dislocations subites que les commotions souterraines produisent dans l'écorce solide du globe, peuvent donner lieu aux dégâts les plus épouvantables. L'histoire de l'archipel grec, des îles du Japon, d'une multitude de localités, se trouve remplie des désastres produits par ces catastrophes.

§ 34. **Constance du niveau des mers.** — Nous venons d'admettre des côtes affaissées et des côtes soulevées; et de poser en principe que le niveau des mers est invariable; mais cette dernière assertion étant contraire aux idées répandues dans le monde et à ce qu'on trouve même dans la plupart des traités de géologie, il est nécessaire de l'appuyer de la démonstration dont elle est susceptible. Les lois de l'hydrostatique nous apprennent que ce que nous appelons le niveau des mers n'est autre chose qu'une surface d'équilibre, peut-être très-compliquée, qui est déterminée par les forces attractives diverses qu'exercent les parties solides sur la masse des eaux. Elles nous font voir qu'un point quelconque de cette surface ne peut conserver une position invariable sans que tous les autres conservent également la leur, et que les eaux ne peuvent ni s'élever ni s'abaisser quelque part d'une manière permanente, sans qu'il y ait des changements correspondants dans toutes les autres parties. Or, d'un côté, nous connaissons un très-grand nombre de localités où les mers n'ont pas subi la moindre variation depuis les temps historiques; donc leur surface générale n'a pas changé, et la constance du niveau devient le fait le plus positif que nous puissions avoir, puisqu'il a subi l'épreuve de tous les âges. D'un autre côté, si l'on peut être conduit, comme les habitants du Chili, en voyant la différence qui s'est manifestee sur la côte, à penser que la mer s'est abaissée dans ces parages, de 1822 à 1837, il faudra conclure aussi, avec ceux de la Californie, du Pérou, de la Patagonie, etc., que dans le même temps elle n'a subi en ces lieux aucune variation : deux conclusions incompatibles entre elles, et avec les lois hydro-

statiques. On serait de même conduit à admettre que la mer s'est élevée au fond du golfe d'Arabie en 1819, comme à diverses époques sur les côtes du Portugal, en 1784, dans le détroit de Messine, etc., sans subir de changement dans les parages voisins. De toutes ces circonstances inconciliables, nous concluons qu'au lieu de l'immutabilité du sol, qu'une erreur analogue à l'idée d'immobilité du globe a fait imaginer, il faut admettre celle des mers, en reconnaissant que la surface solide de notre planète est susceptible de soulèvements, d'affaissements et de bouleversements de toute espèce.

§ 35. **Soulèvement lent de la Suède**, etc. — L'idée de la diminution des eaux de la mer, ou, en d'autres termes, de l'abaissement de son niveau, fut celle des plus anciens naturalistes; mais ce n'était qu'une manière de voir, et, en 1731, l'Académie d'Upsal entreprit de vérifier ce fait important. On fit alors des entailles sur les rochers au niveau de la mer, et au bout de quelques années il fut démontré que ces marques se trouvaient de plusieurs centimètres au-dessus des eaux, d'où l'on conclut l'abaissement de la Baltique, ce qui entraînait celui des mers voisines. Cependant cette conclusion trouva au moment même des contradicteurs, et l'on multiplia les observations, qui ont été même continuées jusqu'à nos jours. Il en est résulté qu'en effet il y a dans plusieurs points une dépression apparente et continue du niveau de la mer; mais il est aussi constaté que cette dépression n'est pas la même partout. Dans quelques points elle a été de plusieurs centimètres dans l'espace de peu d'années, et dans d'autres seulement de quelques millimètres; si dans certaines parties, les faits semblent indiquer un abaissement du niveau de la mer, il en est d'autres, comme sur les côtes de Scanie, où le niveau paraît au contraire s'être élevé, car les marques faites jadis à fleur d'eau se trouvent maintenant au-dessous. La conclusion évidente de ces faits contradictoires, c'est que le niveau de la Baltique n'a pas plus changé que celui de toutes les mers; mais qu'en Finlande, et dans une grande partie de la Suède, le terrain s'élève graduellement, sans secousse apparente, tandis que dans la partie méridionale de la presqu'île il s'affaisse de la même manière.

§ 36. **Affaissements lents et progressifs.** — Outre cet affaissement lent et progressif des côtes de Scanie, qui se trouve attesté, d'une manière irrécusable, par des épreuves commencées du temps de Linné, on a des exemples du même fait sur une échelle plus étendue. Il est hors de doute aujourd'hui que depuis quatre siècles la côte occidentale du Groënland s'est continuellement affais-

sée, sur une longueur de plus de 200 lieues du nord au sud ; d'anciennes constructions, tant sur des îles basses que sur le continent, ont été graduellement submergées, et fréquemment on a été dans la nécessité de repousser plus loin dans les terres divers établissements formés près du rivage. On a également indiqué des affaissements dans certaines îles du Grand Océan, et particulièrement dans la mer des Indes et dans les îles de la Sonde ; mais, dans ces lieux si rarement visités par les géologues, les faits ne sont pas encore suffisamment établis (voy. § 121 et 164).

Il est fort remarquable aussi que les mesures barométriques prises dans les Andes par M. Boussingault indiquent toutes des hauteurs moindres que celles qui ont été observées 30 ans auparavant par M. de Humboldt ; les différences se trouvent toutes dans le même sens, ce qui montre assez qu'on ne peut les attribuer à des erreurs d'observation. Il semble en résulter que dans les montagnes de ce continent il s'est opéré un affaissement dans cet espace de temps, ce qui s'accorderait d'ailleurs avec une autre observation importante, celle de l'élévation apparente de la limite inférieure des neiges dans ces contrées.

§ 37. **Conclusion générale.** — Il doit paraître maintenant bien établi que les tremblements de terre sont capables de produire de grandes modifications à la surface de la terre, puisque de nos jours de vastes contrées ont pu être soulevées sensiblement au-dessus du niveau des mers. Il n'est pas moins évident qu'il se fait un travail lent, en vertu duquel diverses parties de nos continents peuvent aussi s'élever successivement, et que, par opposition, il s'opère des affaissements graduels aussi bien que des enfoncements subits, qui sont sans doute des phénomènes corrélatifs.

Toutes ces circonstances, si remarquables, ne paraissent cependant avoir rien de bien étonnant, lorsqu'on réfléchit à l'énorme disproportion qui existe entre l'épaisseur de la croûte solide du globe et la masse de matière fondue qu'elle recouvre. Est-il surprenant qu'une telle écorce, relativement plus mince qu'une feuille d'or battu sur une orange, puisse être tourmentée de toute manière au moindre mouvement de la masse sous-jacente, surtout si l'on observe que, des mouvements semblables ayant eu lieu, sans doute, depuis que la première pellicule est consolidée à la surface, toutes les croûtes successives ont dû être crevassées dans tous les sens, et que par conséquent leur masse ne peut avoir la résistance d'une enveloppe continue ? Nous allons en voir encore d'autres effets dans les paragraphes suivants.

2° PHÉNOMÈNES VOLCANIQUES.

§ 38. **Idées générales. Explosion, éruption.** — Les phénomènes volcaniques ont la plus étroite liaison avec les tremblements de terre, et en sont en quelque sorte les derniers résultats. Lorsque dans les trépidations et les soulèvements du sol, la croûte terrestre se trouve crevassée profondément, il s'établit une communication de l'intérieur du globe à l'extérieur, et il se dégage diverses matières du sein de la terre. Les gaz de diverses espèces, les eaux chaudes ou froides, simples ou sulfureuses, chargées quelquefois de boue, offrent les résultats passagers les plus simples. Mais fréquemment aussi, à travers le sol soulevé et crevassé, il se fait, au milieu de détonations violentes, des explosions qui lancent au loin tous les débris du terrain, comme il paraît être arrivé à Saint-Michel des Açores en 1522, où les débris de deux collines couvrirent toute la ville de Villa-Franca. Le plus souvent il se fait en même temps des éruptions plus ou moins considérables de matières incandescentes, scoriacées, ponceuses, ou à l'état de fusion, qui tantôt sont projejetées au loin ou s'écoulent sur les pentes, tantôt s'accumulent sur place à des hauteurs plus ou moins considérables : c'est ce qui s'est passé dans un grand nombre de localités dont nous citerons quelques-unes pour exemples.

§ 39. **Éruption de l'île Saint-Georges.** — Au mois de mai 1808, à Saint-Georges des Açores, au milieu des champs cultivés, le terrain, après s'être soulevé, s'entr'ouvrit sur plusieurs points avec un bruit effroyable. Il se forma d'abord une vaste cavité, ou *cratère*, de 9 à 10 hectares, puis une plus petite à une lieue de distance, et enfin 12 à 15 petits cratères sur la surface crevassée. Une énorme quantité de scories et de ponces furent projetées au loin, et le terrain en fut couvert jusqu'à un mètre et demi d'épaisseur sur une étendue de 4 lieues de long et 1 de large. On vit ensuite des courants de matière fondue qui, pendant plus de trois semaines, ne cessèrent de couler du grand cratère jusqu'à la mer.

§ 40. **Monte Nuovo.** — Le Monte Nuovo, formé en 1538 au fond de la baie de Baia, sur la côte de Naples, nous offre un autre exemple d'une semblable éruption. De violents tremblements de terre duraient depuis deux ans : *le 27 et 28 septembre ils ne laissèrent aucun repos ni jour ni nuit; la plaine qui se trouve entre le lac Averne, le Monte Barbaro et la mer, fut alors soulevée, et diverses crevasses s'y manifestèrent*, etc. (Pietro Giacomo di Toledo). *On vit alors une grande étendue de terrain s'élever, et prendre subi-*

tement la forme d'une montagne naissante; dans la nuit du même jour ce monticule de terre s'ouvrit avec grand bruit et vomit des flammes considérables, ainsi que des ponces, des pierres et des cendres (Porzio). Les ponces provenaient du soulèvement du sol, qui est composé de débris de ces matières dans toute la Campanie; et quant aux pierres et aux cendres, elles provenaient de l'éruption qui se manifesta dans le moment : on voit encore sur la pente sud de la montagne une traînée de scories, et au sommet les restes du cratère qui les a produites. L'éruption dura sept jours, et les matières projetées et rejetées comblèrent en partie le lac Lucrin. Depuis, la tranquillité la plus parfaite a constamment régné.

§ 41. **Jorullo.** — Nous trouvons quelque chose d'analogue, avec des circonstances particulières, dans ce qui arriva au Méchoachan, près de la ville d'Ario, le 29 septembre 1759, après deux mois de tremblement de terre. Au milieu d'une plaine couverte de cannes à sucre et d'indigo, traversée par deux ruisseaux, il se forma en une nuit, dit M. de Humboldt, une gibbosité de 160 mètres de hauteur vers le centre, couverte par des milliers de petits cônes fumants, au milieu desquels s'élevèrent six grandes buttes placées sur une même ligne (fig. 14), dans la direction des volcans de Colima et de Popocatepelt. La plus haute de ces buttes,

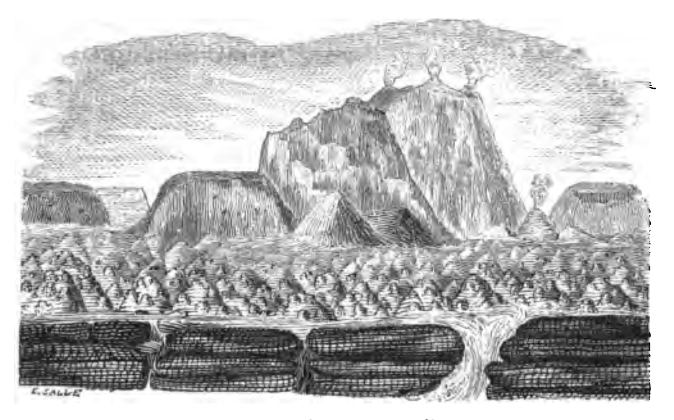


Fig. 14. *Volcan de Jorullo.*

nommée *Jorullo*, était de plus de 500 mètres de hauteur au-dessus de la plaine; de ses flancs il s'échappa une assez grande quantité de laves.

§ 42. **Vésuve.** — Quelque chose de semblable a dû se passer au Vésuve, car Strabon décrit la montagne ainsi nommée par les anciens sans parler en aucune manière du cône si remarquable qui s'y trouve aujourd'hui (fig. 15), et qu'il n'aurait pas manqué d'indiquer. Il est donc évident que ce cône n'existait pas alors; mais les crêtes qui s'élèvent en demi-cercles au nord, en formant ce qu'on nomme aujourd'hui la *Somma*, faisaient probablement partie d'un cirque complet, rempli peut-être de débris, dont la moitié sud, beaucoup plus surbaissée, séparée de l'autre par une fente diamétrale qui passe par l'axe du cône actuel, n'offre plus qu'une trace à l'est et un indice à l'ouest par les tufs ponceux du Salvatore. La montagne, qui se présentait peut-être comme fig. 16, *était*, dit Strabon, *d'une grande fertilité sur ses pentes; elle offrait un*


Fig. 15. *Vue du Vésuve actuel.*


Fig. 16. *Vésuve du temps de Strabon.*

sommet tronqué en grande partie uni, entièrement stérile, d'un aspect brûlé, montrant des cavités remplies de crevasses et de pierres calcinées : d'où l'on pouvait conjecturer que ces lieux avaient été autrefois des cratères brûlants. Tout porte à croire que le cône qui seul porte aujourd'hui le nom de Vésuve, dont tous les produits sont différents des roches de la Somma, ne s'est formé que beaucoup plus tard, et probablement lors de la fameuse éruption de l'an 79, qui coûta la vie au naturaliste romain; il s'est fait sans doute alors un conduit permanent au milieu des matières qui se sont élevées sous la forme de dôme, et que les scories subséquentes ont enveloppées (§ 58). Cette catastrophe paraît avoir alors produit peu de laves, mais un horrible bouleversement qui, suivant Pline le Jeune, *précipita une grande partie de la montagne dans la mer*, et ensevelit Herculanum et Pompéi, non sous des torrents de matières fondues, comme on le dit vulgairement, mais sous des avalanches de débris ponceux qui existaient auparavant sur la pente de la montagne, car le Vésuve lui-même n'en a jamais produit un atome. Si toute la pente sud, tournée vers la mer, est maintenant occupée par des laves, il est évident qu'avant la formation du volcan permanent elle était couverte de tufs ponceux dont on voit encore les traces en divers points, comme l'est aujourd'hui jusqu'à une grande hauteur toute la pente extérieure de la Somma et même toute la Campanie (§ 40).

§ 43. **Définition d'un volcan.** — Dans ces événements, dont nous ne multiplierons pas les exemples, il arrive souvent que la crevasse qui a donné lieu aux effets observés s'obstrue dans la profondeur, et que la tranquillité se rétablit complétement, comme au *Monte Nuovo*. Dans d'autres circonstances, au contraire, il se fait un conduit permanent, soit immédiatement, soit après plusieurs secousses, et il s'établit quelquefois un foyer continu d'activité, où la lave bouillonne constamment, d'où se dégagent incessamment des matières gazeuses et même des scories : c'est ce qui a lieu à *Stromboli* depuis la plus haute antiquité (§ 60). Ailleurs, le conduit s'obstrue momentanément dans la partie supérieure; mais il suffit du moindre effort pour le debarrasser, ou pour produire une nouvelle ouverture dans le voisinage, par quelque fissure, qui s'anastomose avec le conduit principal (fig. 17). Dans tous les cas, il en résulte un centre de communication facile de l'intérieur de la terre à l'extérieur, et c'est là ce qu'on nomme un *volcan*.



Fig. 17. *Conduits volcaniques.*

§ 44. Ces communications sont peut-être des préservatifs contre la violence des tremblements de terre, et l'on remarque en effet que, du moment qu'il s'opère une éruption quelque part, les secousses qui jusque-là s'étaient manifestées deviennent à la fois moins fortes et moins nombreuses, ou même cessent entièrement. C'est ainsi que le temblement de terre de Caracas, en 1812, se termina par l'éruption du volcan de Saint-Vincent dans les Antilles; que les éruptions de Jorullo, du Monte Nuovo, terminèrent les tremblements qui désolaient les contrées environnantes, etc. Par opposition, quand un volcan devient inactif, il semble que les tremblements de terre se déclarent : c'est ainsi qu'en 1797, quand le volcan de Puracé, près de Popayan, eut cessé de jeter des flammes et de la fumée, la vallée de Quito fut agitée de violentes secousses. Les volcans sont donc comme des *évents* naturels préparés par la Providence pour prévenir le bouleversement complet du globe, et sa rupture inévitable en pièces, qui, lancées dans l'espace, pourraient y décrire de nouvelles orbites.

§ 45. **Éruptions sous-marines.** — Ce n'est pas seulement au milieu des terres que les phénomènes volcaniques se manifestent; ils ont également lieu sous les mers. De nos jours nous avons vu se former ainsi l'île Julia en 1831, au sud-ouest de la Sicile; Bogoslaw, en 1814, dans l'archipel Aleutien; Sabrina, et une autre qui ne fut

pas dénommée, en 1811, dans les Açores, où, d'ailleurs, il s'en forma à différentes époques, suivant les narrations les plus authentiques. Il s'en éleva de même à plusieurs reprises autour de l'Islande ; et les relations diverses en indiquent également dans les îles de la Sonde, dans les Philippines et les Moluques, dans tout le Grand Océan, dans les Kuriles, au Kamtschatka, etc.

§ 46. *Volcan d'Unalaska.* — Un des plus beaux exemples nous est fourni par l'île qui s'éleva en 1796, à environ 10 lieues de la pointe septentrionale d'Unalaska, l'une des îles Aleutiennes. On vit d'abord une colonne de fumée s'élever du sein de la mer ; puis apparut, à la surface des eaux, un point noir, du sommet duquel des gerbes de matières incandescentes s'élancèrent avec violence. Ce phénomène continua pendant plusieurs mois, pendant lesquels l'île s'accrut successivement en largeur et en hauteur ; plus tard il ne sortit plus que de la fumée, qui cessa même tout à fait quatre ans après. Cependant l'île continua encore à s'agrandir et à s'élever, sans déjection apparente ; en 1806, elle formait un cône qu'on apercevait d'Unalaska, sur lequel il s'en trouva quatre autres plus petits du côté du nord-ouest.

§ 47. *Santorin.*—La Méditerranée nous offre aussi un bel exemple d'éruptions sous-marines au centre de l'espace compris entre les

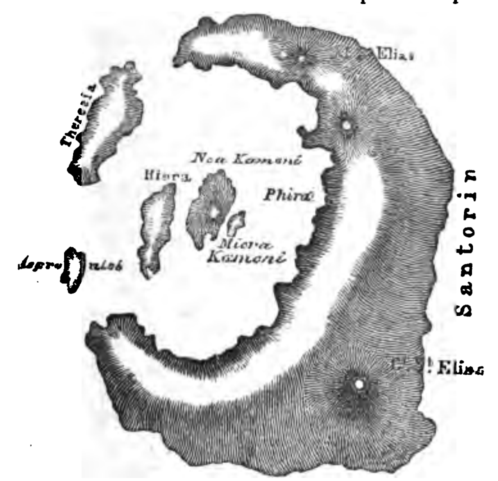


Fig. 18. *Carte de Santorin et des îles adjacentes.*

îles *Santorin*, *Therasia*, *Aspronisi* (fig. 18), qui, suivant les an-

ciens, apparurent au-dessus des eaux plusieurs siècles avant Jésus-Christ, à la suite de violents tremblements de terre. Dans cette enceinte s'éleva d'abord *Hiera*, 186 ans avant notre ère, qui s'accrut ensuite par des îlots soulevés sur ses bords en 19, 726, 1427; puis se formèrent de même *Micra-Kameni* en 1573, et *Nea-Kameni* en 1707, s'accroissant successivement en 1709, 1711 et 1712, etc. Il ne s'est formé de cratère dans aucune de ces îles, et nous y voyons seulement une apparition de matières organiques, sous la forme de *dôme*, qui semblent avoir couvert l'orifice par lequel elles sont sorties. Il n'y a donc pas là de volcan suivant la définition que nous en avons donnée, mais tendance peut-être à en former un par la suite. Les îles de *Milo*, *Argentiera*, *Polino*, *Policandros*, *Poros*, etc., sont formées des mêmes matières, et ont eu probablement la même origine; c'est d'ailleurs ce que rapportent aussi les anciens historiens.

§ 48. **Ce qui se passe dans ces phénomènes.** — Ces phénomènes sous-marins sont annoncés par des matières incandescentes lancées au-dessus des eaux, par des scories et des ponces qui nagent à la surface, par des rochers brûlants qui apparaissent au milieu des flots de vapeurs et par le bouillonnement des eaux de la mer, dont la température devient alors très-élevée : c'est ce que nous avons vu de nos jours à Julia, à Sabrina, etc., et ce que les auteurs indiquent avec les plus grands détails dans toutes les relations. Le père Gorée nous a donné celle de l'élévation de Nea-Kameni de Santorin, en 1707, et toutes les circonstances qu'il indique sont d'accord avec ce que Strabon, Pline, Plutarque, Justin, nous rapportent de l'apparition de Hiera au milieu des flammes et d'une violente ébullition des eaux de la mer.

Cependant les circonstances que nous venons d'indiquer ne se trouvent pas toujours toutes réunies. Quelquefois aucun rocher solide ne se présente au-dessus des eaux : c'est ce qui arriva au Kamtschatka, en 1737, où des jets de vapeurs, une grande ébullition de la mer, des pierres ponces nageant à sa surface, furent tout ce qu'on aperçut; mais quand on put approcher, on reconnut une chaîne de montagnes sous-marines, là où il y avait auparavant une profondeur de 200 mètres. Dans d'autres cas il n'y a pas même de jets de vapeurs; le phénomène se manifeste par la chaleur des eaux et par l'élévation subite des dépôts qui existaient au fond des mers : c'est ce qu'on vit en 1820 à l'île de Banda, dans les Moluques, où la baie, qui avait plus de 100 mètres de profondeur, fut remplie par un soulèvement tranquille de matières compactes basaltiques préexistantes (§ 312 *i*), qui formèrent un promontoire composé de

gros blocs entassés les uns sur les autres, sans autre phénomène accessoire que l'échauffement des eaux.

§ 49. Il paraît même qu'après les éruptions il se fait souvent un soulèvement paisible et lent, comme nous l'avons indiqué à l'île formée devant Unalaska (§ 46), et comme il résulte des observations de M. Virlet à Santorin. En effet, entre Micra-Kameni et le port de Phira (fig. 18), espace où se trouve une montagne sous-marine assez abrupte, il y avait, au commencement du siècle, 30 mètres d'eau au-dessus de la partie la plus haute ; mais il n'en restait plus que 8 mètres en 1830, et 4 en 1834. Il est à présumer qu'incessamment une nouvelle île, c'est-à-dire la pointe d'un nouveau cône, apparaîtra dans cette partie du golfe, et peut-être avec tous les phénomènes ignés qui se sont manifestés à diverses époques dans d'autres points de la localité.

Ajoutons que les îles qui s'élèvent à la surface des mers ne se conservent pas toujours indéfiniment. Beaucoup d'entre elles disparaissent après plus ou moins de temps, soit qu'elles se trouvent rasées plus ou moins profondément par les vagues, comme on le suppose pour l'île Julia, soit que leur masse s'enfonce dans des abîmes formés au-dessous d'elles ; c'est cette dernière circonstance qui eut lieu sans doute pour une île soulevée en 1719 près de Saint-Michel des Açores, et qu'on vit disparaître en 1723, laissant une profondeur de 133 mètres. Il y a mieux encore : à la place d'une île soulevée dans les mêmes parages, en 1630, on ne trouve plus aujourd'hui qu'un abîme sans fond.

§ 50. **Cratères de soulèvement.** – Le premier effet d'une éruption est de briser avec violence la croûte terrestre sur la direction que les matières intérieures ont prises pour se dégager. Le terrain, quel qu'il soit, est d'abord soulevé sur une étendue plus ou moins considérable, ou bombé sous forme de cloche, souvent fendillé de toutes les manières ; bientôt, l'explosion se déclarant, il se fait, comme par l'action d'une mine formidable, une ouverture en forme d'entonnoir, par laquelle se dégagent souvent ensuite les matières gazeuses et autres qui ont causé l'événement (§ 38 à 41). C'est à ces ouvertures initiales, qui peuvent avoir lieu dans toute espèce de terrain, qu'on a donné le nom de *cratères de soulèvement*, par la nécessité de les distinguer, dans la série des phénomènes volcaniques, de tout ce qui peut se faire ultérieurement. La butte elle-même qui se produit à la surface du sol, par ce premier effet, se nomme souvent *cône de soulèvement*, pour la distinguer des buttes analogues qui se forment aussi par l'accumulation des matières incandescentes rejetées hors du volcan (§ 58, 59).

§ 51. **Caractères de ces ouvertures.** — Ce qui caractérise les cratères de soulèvement, et les fait reconnaître dans les lieux mêmes où il ne reste aucun souvenir d'éruption, c'est la disposition des couches du terrain soulevé, fort différente de ce qu'elle offre partout ailleurs. Ces couches se trouvent alors inclinées de toutes parts autour de l'axe du cône, comme dans la coupe fig. 19, se relevant de plus en plus de la base au sommet, et présentant leurs tranches abruptes vers l'intérieur de la cavité. Le Monte Nuovo nous en offre un exemple en petit : la montagne s'est formée par soulèvement (§ 40), s'est crevée au sommet en projetant au dehors des gaz et des matières incandescentes ; et la cavité présente à son pourtour, sous l'inclinaison de 30 degrés, les diverses couches de terrain qu'on trouve déposées horizontalement dans tout le reste de la Campanie. Le demi-cirque de la Somma (§ 42), présente le même fait dans les nappes inclinées de ses porphyres amphigéniques, et beaucoup de localités nous en offrent d'analogues.



Fig. 19. *Dispositions des couches autour d'un cratère de soulèvement.*

Un autre caractère non moins important, et surtout utile quand les matières soulevées ne se divisent pas en couches, nous est fourni, dans les grands cratères de soulèvement, par les crevasses qui s'étendent du bord des escarpements jusqu'à la base extérieure de la montagne, et qui forment ce qu'on nomme des *barancos* dans les îles Canaries, où elles sont si remarquables ; c'est ce qu'on voit parfaitement dans l'admirable carte de l'île Palma, dressée par M. de Buch, et dont nous donnons ici la réduction (fig. 20). L'un de ces barancos, beaucoup plus profond que les autres, se prolonge du pied de la montagne jusqu'au fond du cratère, comme on le voit sur la carte, et peut-être mieux encore dans la vue que représente a figure 21. Ce dernier caractère se voit presque toujours dans les différentes localités où se sont produits de semblables événements, ainsi que dans la plupart des îles qui se sont élevées de nos jours au milieu des mers ; souvent même il y a plusieurs vallées de la même espèce.

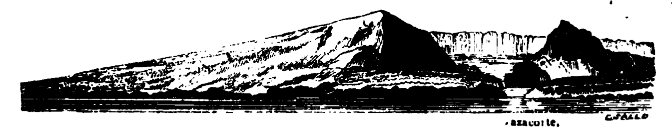


Fig. 21. *Vue de l'île Palma.*

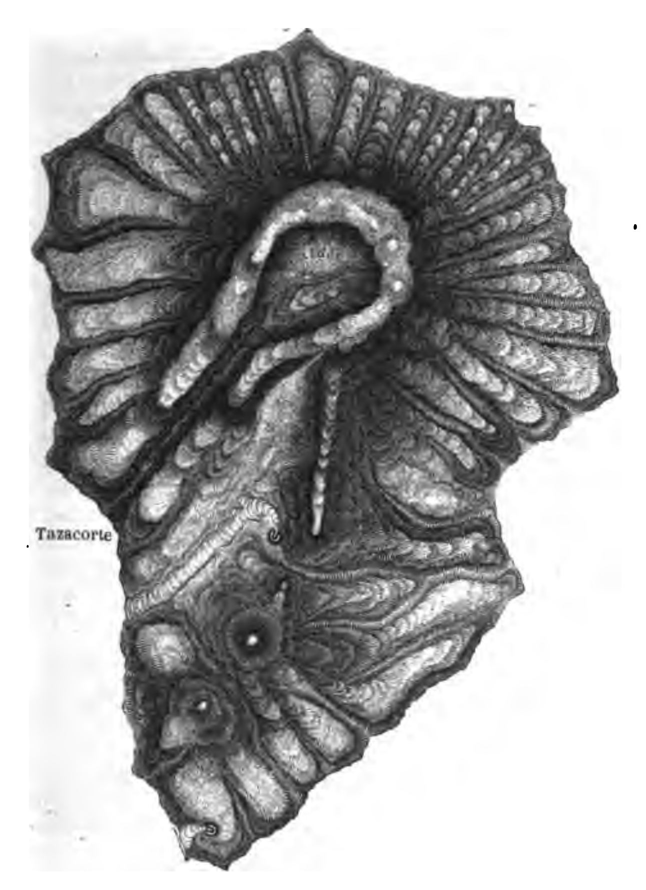


Fig. 20. *Carte de l'île Palma.*

§ 52. **Remarques sur la formation de ces cratères.** — Nous venons d'indiquer l'explosion comme déterminant la formation de la cavité cratériforme au sommet de la masse soulevée; cependant il n'est pas probable que cette circonstance, qui s'applique aux événements du Monte Nuovo, de l'île Saint-Georges, etc. (§ 39 et 40), se soit constamment présentée dans tous les cas; et même

elle paraît inadmissible pour certains cratères d'une vaste étendue que nous connaissons en un grand nombre de lieux. Mais cette explosion n'est pas même nécessaire : on conçoit en effet, qu'après certains crevassements (fig. 22), qui sont des résultats corrélatifs des soulèvements (§ 30), il puisse arriver que toutes les quilles restées

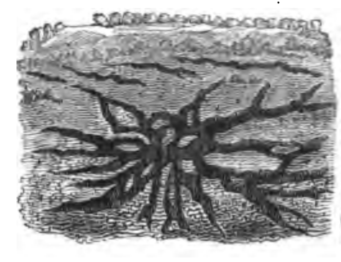


Fig. 22.



Fig. 23.

debout, et toutes les pointes allongées entre les fentes, se trouvent culbutées, soit au moment même, soit par une nouvelle action. Il en résulte dès lors une cavité libre (fig. 22), dont le fond est formé par l'accumulation de tous les débris, et dont la profondeur est en rapport avec la somme des vides formés par les fractures. D'un autre côté, il est clair que le soulèvement est produit par quelque matière, liquide ou gazeuse, qui pousse la croûte terrestre et la force à se tuméfier ; or, s'il arrive que ces matières trouvent une issue quelque autre part, ou se retirent ailleurs dans les entrailles de la terre, la masse soulevée, se trouvant sans appui, peut s'affaiser en partie dans les abîmes laissés au-dessous d'elle, et par conséquent occasionner un vide immense au milieu de la gibbosité, qui n'offre plus alors qu'un massif évidé au-centre et crevassé sur ses bords : c'est ce qui paraît devoir être arrivé dans un certain nombre de cas, et notamment au massif de l'Etna (fig. 24 et 25), dont la pente orientale présente un vaste enfoncement nommé *Val del Bove*, bordé de crêtes crevassées en divers points.

§ 53. Qu'on ne croie pas ce commentaire une pure spéculation théorique ; nous avons un grand nombre d'exemples positifs d'effondrements comparables, en dehors même des effets produits par les tremblements de terre (§ 30). Au sommet de l'Etna, il s'en est fait un de 400 mètres de profondeur en 1832, et plusieurs autres ont été produits au commencement de notre siècle ou à la fin du précédent. Fréquemment il s'est fait tout à coup des lacs, quelquefois d'eau bouillante, par l'enfoncement subit du terrain à la suite des

éruptions volcaniques, comme en 1835 près de l'ancienne Césarée de Cappadoce, en 1820 à Saint-Michel des Açores, etc. Il est arrivé même que de hautes montagnes volcaniques se sont affaissées subitement et ont été remplacées par des lacs profonds, comme le volcan de Papandayan à Java, en 1772, qui entraîna quarante villages dans ses flancs; comme aussi, en 1638, le pic des Moluques, qu'on apercevait jadis de 12 lieues en mer. Le sommet du Carguaraizo, dôme volcanique qui rivalisait de hauteur avec le Chimborazo, s'écroula en 1698; il en fut de même du Capac-Urcu, également situé sur le plateau de Quito, peu de temps avant l'arrivée des Espagnols en Amérique. De tels faits, dont nous pourrions citer encore un assez grand nombre, suffisent certainement pour justifier les idées théoriques que nous avons exposées.



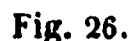
Fig. 24. *Vue et profil de l'Etna et de la contrée environnante.*



Fig. 25. *Plan de l'Etna et de ses environs.*

§ 54. **Configurations des îles volcaniques modernes.** — Les différentes îles volcaniques qui se sont formées çà et là sous nos yeux, au milieu des mers, nous présentent des circonstances tout à fait analogues à celles que nous venons de décrire. En effet, l'île Sabrina (§ 45), au moment de son apparition, présenta un cratère

qui s'ouvrait au sud (fig. 26 et 27), et se terminait par une crevasse



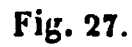






Fig. 26. Fig. 27.

Apparition et forme de certaines îles volcaniques.

d'où sortait un courant d'eau bouillante ; l'île Julia dut offrir quelque chose d'analogue, d'après les narrations, et c'est encore ce que montre un récit du capitaine Thayer. En effet, le 6 septembre 1835, au nord de la Nouvelle-Zélande, ce navigateur rencontra un rocher annulaire nouvellement formé presque à fleur d'eau, au milieu duquel se trouvait une lagune n'ayant qu'une seule issue, et dans laquelle l'eau était brûlante.

Toutes ces îles paraissent n'être autre chose que des pointes de dômes soulevées comme ceux d'Unalaska, de Santorin, soit instantanément, soit avec lenteur, et dont le sommet s'est crevé, comme au Monte Nuovo (§ 40). Ce sont alors de véritables cratères de soulèvement, ou d'explosion, qui peuvent offrir des roches quelconques aussi bien que des tufs ou des scories. L'archipel des Açores, qui tant de fois a vu naître de semblables îles du fond des mers, en présente une qui semble avoir échappé à la destruction pour montrer comment se sont formées toutes celles qui ont disparu. C'est le rocher de *Porto de Ilheo*, qui présente un vaste cirque dans lequel les vaisseaux viennent se mettre à l'abri, et dont les parois, élevées de 130 mètres, sont composées de tuf volcanique.

§ 55. **Iles diverses de même forme.** – Les phénomènes dont nous sommes ainsi les témoins nous conduisent à reconnaître l'origine d'un assez grand nombre d'îles qui se trouvent dans nos mers, tant par l'analogie de leurs formes avec celles des îles que nous venons de citer, que par leur nature. Les unes sont en forme

de fer à cheval (fig. 28), offrant une ouverture plus ou moins large par laquelle on peut pénétrer dans l'intérieur du bassin profond qu'elles renferment, et au centre duquel se trouvent quelquefois des buttes isolées volcaniques. D'autres nous présentent des cirques complétement fermés, plus ou moins écornés sur quelques points de leur pourtour, ou bien des groupes de petites îles réunies circulairement, qui sont plus ou moins saillantes au-dessus des eaux. Ce sont autant de circonstances qui rappellent les différents faits que nous venons de citer.



Fig. 28. *Dispositions de certaines îles de la mer du Sud.*

§ 56. **Effets postérieurs au soulèvement.** — Les cratères de soulèvement sont quelquefois restés tels que le premier événement les a produits ; mais souvent aussi divers phénomènes volcaniques s'y sont postérieurement manifestés, en différents temps et de diverses manières. C'est ainsi que le cône du Vésuse (§ 42, fig. 15), s'est formé en 79, dans l'ancien cratère de soulèvement de la Somma, que le pic de Ténériffe se trouve dans un cirque dont les parois verticales s'élèvent de 300 à 600 mètres; que le volcan de Taal, dans l'île Luçon, l'une des Philippines, est placé au centre d'un bassin rempli d'eau, et entouré de rochers élevés qui ne laissent qu'un seul passage pour entrer, etc.

Quelque chose de semblable se présente dans le golfe de Bengale, à l'île Barren, reconnue en 1787. C'est un vaste cirque (fig. 29), formé de hautes montagnes, dans lequel la mer pénètre

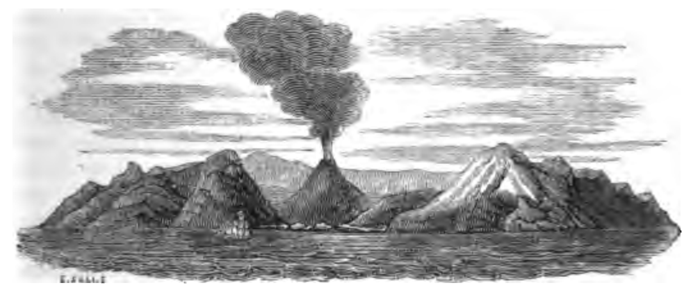


Fig. 29. *Vue de l'île Barren dans le golfe de Bengale.*

par une seule ouverture, et dont le centre est occupé par un volcan de 600 mètres de hauteur, qu'on trouva en pleine activité au moment de la découverte.

§ 57. Les îles Santorin, Theresia, Alphronisi (§ 47), paraissent aussi appartenir aux bords d'un vaste cratère de soulèvement; d'un côté, les anciens les citent comme étant apparues longtemps avant l'ère chrétienne, à la suite de violents tremblements de terre; de l'autre, elles offrent des couches inclinées en dehors (fig. 30),

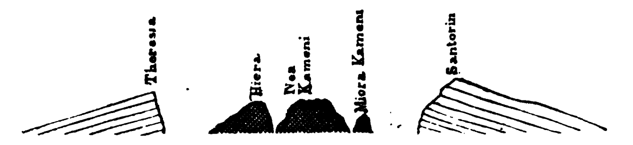


Fig. 30. *Coupe de Santorin et des îles adjacentes.*

qui présentent leurs tranches abruptes (§ 51), vers la partie centrale de la baie. Or, c'est au milieu de ce cirque, dont la profondeur est considérable sur les bords, que se sont produits tous les phénomènes volcaniques subséquents, qu'ont apparu successivement les sommets des côtes qui constituent les trois îles modernes (§ 47), et que se préparent encore des éruptions nouvelles (§ 49).

§ 58. **Diverses époques de la formation d'un volcan.** — Il faut souvent distinguer, dans une montagne à volcan, plusieurs parties différentes, qui correspondent chacune à une époque particulière et à un mode spécial de formation. La première gibbosité est, en général, l'effet d'un soulèvement du sol préexistant, dont la nature peut être quelconque. A la suite, il se fait tôt ou tard un crevassement qui produit soit un cratère de soulèvement, soit un dôme de matière pâteuse, (§ 41), distingué nettement de la première butte, par l'étendue comme par la forme, au milieu duquel il reste souvent une cheminée permanente. C'est alors que peut commencer un troisième effet, celui de la formation d'un cône terminal, au moyen des matières scoriacées soulevées par le bain de lave dont le conduit se remplit; ces matières se trouvent poussées sur les bords de l'ouverture, ou lancées dans les airs d'où elles retombent autour du centre d'éruption, s'accumulant alors en cônes sous les pentes maximum de 30 à 35°. Ces scories se ressoudent vers l'intérieur de la cheminée, qu'elles rétrécissent alors de plus en plus par des encorbellements successifs et dont elles masquent ainsi le diamètre véritable.

Il est rare qu'on trouve ces trois sortes de formations réunies dans un même volcan; mais on reconnaît toujours la gibbosité produite par soulèvement, et l'une ou l'autre des buttes secondaires. A Ténériffe, un dôme crevé au sommet s'est élevé au milieu du cratère

de soulèvement. Au Vésuve proprement dit, d'après l'invariable solidité de la base et diverses autres observations, on peut soupçonner dans le cône actuel, un noyau central produit à la manière d'un dôme en 79, puis enveloppé de matières incohérentes, et au sommet duquel il s'est formé un véritable cône de scories qui seul a subi diverses modifications successives. A l'Etna (fig. 24), on distingue clairement la gibbosité primitive, offrant des nappes de laves anciennes soulevées au milieu de la surface légèrement bombée que présente toute cette partie de l'île : elle est terminée par une surface presque plane, le *Piano del Lago*, au milieu de laquelle s'élève le cône terminal de scories, circonscrit régulièrement de tous côtés, et séparé nettement de la base sur laquelle il s'est formé. Sur les pentes se présentent des petits cônes d'éruption, qui se sont depuis formés çà et là à diverses époques, et qui ont contribué au bombement de tout le terrain d'alentour.

§ 59. **Variations du cône terminal.** — Il est clair que des cônes de scories, construits comme nous venons de le dire au-dessus des gouffres volcaniques, ne peuvent avoir que peu de solidité : aussi changent-ils souvent de forme à chaque éruption ; fréquemment il s'en écroule des lambeaux plus ou moins considérables, et de là des cônes profondément ébréchés de toutes les manières. Dans d'autres circonstances, toute la masse est engloutie à la fois dans les abîmes qu'elle recouvrait, puis elle se réédifie par les éruptions subséquentes : c'est ce qui est arrivé au cône terminal de l'Etna, qui a disparu plusieurs fois complétement, laissant un immense soupirail sans parapet au milieu du petit plateau qui termine la gibbosité initiale. Au Vésuve, il n'y a jamais eu, à ce qu'il paraît, que la partie terminale même du cône général qui se soit modifiée, ce qui semble indiquer que le reste de la masse a été formé d'une autre manière. Il arrive aussi que l'édifice s'élève de plus en plus, ce qui semble résulter de l'injection des laves dans les fentes qui s'y forment au moment des éruptions.

§ 60. **Intérieur des cratères.** — L'intérieur des cratères n'offre souvent que peu d'intérêt à l'observation. Après les éruptions, pendant lesquelles on ne peut approcher, ces cavités, de forme conique, dont le diamètre supérieur est plus ou moins considérable, dont le fond paraît souvent formé par une calotte de lave consolidée qui couvre la cheminée principale, ne présentent ordinairement que des jets de vapeurs sulfureuses, qui se dégagent des fissures du sol, des interstices des blocs éboulés, ou de divers petits cônes soulevés çà et là. Quelquefois on observe un ou plusieurs gouffres, tantôt remplis de vapeurs qui se dégagent continuellement,

et laissent voir parfois la lave incandescente à la profondeur; tantôt silencieux et obscurs, capables d'inspirer la terreur, mais sans rien dire à l'imagination, sans porter le moindre intérêt à l'observation. Dans les longs intervalles des crises, les traces de volcanicité disparaissent souvent tout à fait; dans certains cas même, les parois des cratères se couvrent de végétation, comme on le rapporte du Vésuve avant l'éruption de 1631.

Il y a cependant quelques observations qui méritent d'être rapportées. Le cratère de Stromboli, en activité continuelle depuis les temps les plus anciens, présente encore aujourd'hui des phénomènes identiques avec ceux qui ont été décrits par Spallanzani en 1788. Il est constamment rempli de lave en fusion, qui, sans interruption, s'élève et s'abaisse successivement dans la cavité. Parvenue à 8 ou 10 mètres des bords, cette lave se gonfle, se couvre de grosses bulles, qui bientôt éclatent avec fracas, en laissant échapper une énorme quantité de gaz, et projetant des matières scoriacées de tous côtés. Elle s'abaisse bientôt après l'explosion, puis elle remonte pour reproduire les mêmes effets, qui se répètent ainsi régulièrement à des intervalles de quelques minutes.

§ 61. Si la lave de Stromboli était moins fluide, on conçoit que, parvenue à sa plus grande hauteur, elle pourrait s'arrêter, prendre la forme bombée, se consolider en dôme plus ou moins élevé; et qu'alors, s'il se faisait une explosion, il pourrait se former un nouveau cône à cratère au milieu de l'ancien. Cela nous explique ce qui est arrivé fréquemment au fond des cratères, et par exemple au Vésuve (fig. 31), où se sont élevés des dômes qui ont subsisté plus ou moins de temps, se sont ensuite crevés, ont donné passage à des laves, et ont fini par s'écrouler dans les abîmes restés au-dessous d'eux. Certains cratères dont le fond présente une assez grande étendue renferment souvent des collines plus ou moins hautes, qui ont eu probablement une origine analogue à celle que nous venons d'indiquer; soit qu'une lave, arrêtée sous forme de calotte à une certaine hauteur, ait été gonflée en différents points, soit que des soulèvements aient eu lieu dans les matières diverses qui avaient comblé la cavité.

§ 62. Quelquefois, au lieu de lave, on trouve au fond des cratères du soufre en ébullition, comme à Vulcano, ou sur une plus grande échelle au volcan de Taal, dans l'île Luçon (§ 56), et à celui d'Azufral, au nord de Quito, dans les Andes; on y cite aussi des collines, et même des dômes de soufre, comme M. Boussingault l'a observé au volcan de Pasto.

§ 63. Un des cratères les plus remarquables et les plus vastes

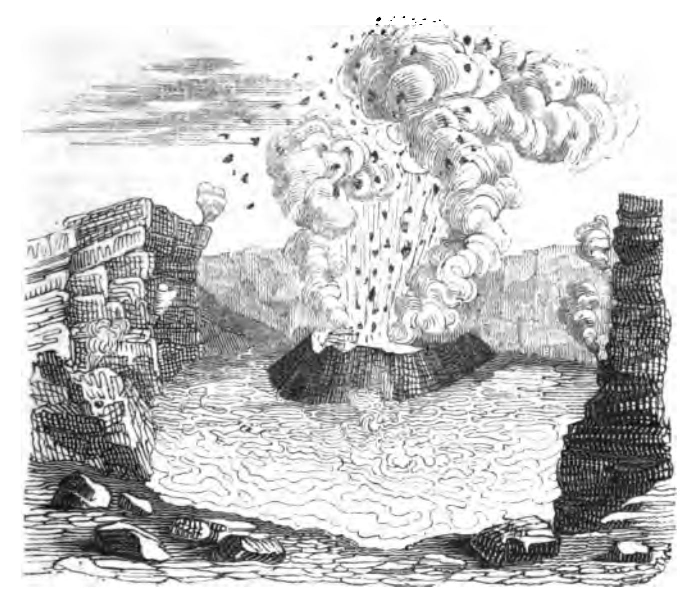


Fig. 31. *Cratère adventif dans le cratère du Vésuve en 1829.*

que nous connaissions est celui de la montagne de Kirauéah, dans l'île d'Havaï, l'une des Sandwich, dont le sommet est à 1178 mètres. Cette immense cavité, à laquelle on a donné 3 à 4 lieues de tour, offrait à l'intérieur, en 1840, trois étages plus ou moins abrupts, dont le plus central avait 325 mètres de hauteur, tout remplis de fissures par lesquelles s'échappaient des vapeurs sulfureuses. Au dire des habitants, cette cavité descendait autrefois jusqu'à la mer, qui y laissait filtrer ses eaux, et présentait alors quatre étages, dont le plus bas est aujourd'hui comblé par les matières volcaniques. Il paraît même que trois ont été successivement remplis, et qu'en 1835, il n'en restait plus qu'un ; mais il y aura eu ensuite des effondrements successifs. Le fond du dernier escarpement était, en 1840, comme une immense chaudière remplie de laves en fusion, tantôt assombries par les scories qui les couvraient, tantôt éclairées par des colonnes jaillissantes de feu, des lacs et des rivières de matières fondues, à la surface desquelles les scories nageaient comme des glaçons. Plusieurs cônes étaient en pleine activité dans cette enceinte.

64. **Solfatares.** — Il existe un grand nombre de cratères qui, depuis longtemps, sont réduits à des dégagements plus ou moins abondants de gaz, ordinairement sulfureux, qui s'échappent des fissures du sol, et souvent avec de la vapeur d'eau. C'est de là qu'on a tiré le nom de *solfatares*, par lequel on désigne les divers lieux où ces phénomènes sont plus ou moins développés. Il en est qui paraissent avoir toujours été dans cet état : telle est, par exemple, sur la côte de Naples, la solfatare de Pouzzoles, vaste cratère de soulèvement (§ 168), au fond duquel se trouvent des roches volcaniques journellement décomposées par les vapeurs. Cette solfatare remonte à la plus haute antiquité, et paraît avoir présenté rarement d'autres effets que ceux qu'on y observe aujourd'hui. Dans les moments de repos, les cratères des volcans deviennent des solfatares plus ou moins énergiques.

Il n'est pas rare de trouver le fond des cratères et des solfatares occupé par un ou plusieurs lacs qui sont fréquemment d'une grande profondeur. Les eaux qu'ils renferment sont quelquefois assez pures, mais souvent aussi elles sont chargées de sels divers, ou même d'acides sulfureux et sulfurique, comme on le voyait au volcan de Teschem, ou mont Idienne, dans l'île de Java, avant 1817, époque où cette montagne fut entièrement bouleversée par l'action des gaz, comme nous le verrons plus tard (§ 78).

§ 65. **Commencement des éruptions.** — Il ne faut pas confondre les émissions continuelles de gaz ou de matières scoriacées de certains volcans, comme le Stromboli (§ 60), avec les éruptions, qui sont des événements subits, heureusement passagers, amenant souvent la désolation dans toute une contrée. Lorsqu'une éruption se prépare, elle s'annonce ordinairement par des tremblements de terre, à la suite desquels elle se déclare avec plus ou moins de fracas. S'il existe un volcan dans la contrée, il commence par lancer des *fumées* abondantes composées de gaz divers et de vapeurs d'eau, puis des matières pulvérulentes dont la quantité devient quelquefois immense, et qu'on nomme *cendres volcaniques;* il s'y joint ensuite, et souvent dès le principe, des fragments de pierres poreuses incandescentes nommées *rapilli* ou *lapilli*, et *pouzzolanes*, des blocs plus ou moins considérables de matières solides qui sont quelquefois lancés à de grandes distances, enfin des portions de matière fondue arrachées à la lave dont le cratère est rempli, et qui, s'arrondissant par leur mouvement dans l'air, forment ce qu'on nomme les *bombes volcaniques*. Il résulte de tout cela, au milieu de détonations violentes, d'immenses gerbes de matières lancées à de grandes hauteurs, éclairées par la réverbération de la lave en fusion, de ma-

nière à figurer des flammes, et dont les parties retombent plus ou moins loin du foyer, suivant leur poids et leur force d'impulsion. Les cendres, les rapilli ou les ponces produisent alors dans les environs du volcan, quelquefois même au loin, des dépôts considérables qui forment ce qu'on nomme des *tufs volcaniques*, des *tufs ponceux*, des *conglomérats* divers.

Les vapeurs et les cendres lancées des volcans forment quelquefois des nuages énormes, souvent assez épais pour intercepter la lumière du soleil et couvrir de ténèbres toute une contrée. Ces nuages, poussés par les vents, sont portés parfois à de très-grandes distances; ainsi, en 1794, les cendres du Vésuve furent poussées jusqu'au fond de la Calabre, et l'on trouve dans Procope que pendant l'éruption de 452, elles furent portées jusqu'à Constantinople; en 1812, celles du volcan de Saint-Vincent, dans les Antilles, furent portées à l'est jusqu'à la Barbade, et y répandirent une telle obscurité qu'en plein jour on ne voyait pas à se conduire; en 1815, celles de l'éruption de Sumbawa furent portées jusqu'aux îles d'Amboine et de Banda, à 290 lieues.

On ne peut voir ce qui se passe au fond des mers dans les éruptions sous-marines; mais il est clair que les projections de matières terreuses, de rapilli ou de ponce ne peuvent être moins considérables, puisqu'on en voit presque toujours des quantités énormes à la surface des eaux pendant les moments de crise, et que, dans les parties de terrain soulevées, on aperçoit distinctement des dépôts de tufs volcaniques, de tufs ponceux et de conglomérats, tout à fait semblables à ceux qui se forment à la surface des terres.

§ 66. **Apparition des matières fondues.** — Les phénomènes que nous venons de citer sont quelquefois les seuls effets de l'éruption, mais souvent ils ne sont que les avant-coureurs ou les annexes de l'expulsion des matières en fusion, qui bientôt apparaissent sous différentes formes. Quelquefois ces matières, en masses pâteuses, s'élèvent en *dômes* au-dessus de l'orifice même qui leur donne issue, et constituent des montagnes plus ou moins élevées, tantôt pleines, tantôt perforées verticalement au centre, susceptibles quelquefois d'être poussées de plus en plus au dehors : c'est ce qui est arrivé à Jorullo (§ 41), ce qui s'est passé à Unalaska (§ 46), et se passe encore dans le golfe de Santorin (§ 49), et ce qui dut avoir lieu dans un grand nombre de localités que nous connaissons.

Dans d'autres circonstances le cratère antérieurement formé au sommet d'un volcan se remplit complétement de matières fondues; celles-ci en écornent bientôt alors une partie plus ou moins profondément, puis se déversent en torrents qui sillonnent le flanc de

la montagne et s'écoulent jusque dans la plaine où elles s'étendent plus ou moins.

Ailleurs, et surtout lorsque le cône se trouve déjà à une grande hauteur, comme à l'Etna, à Ténériffe, dans les volcans des Andes, etc., c'est rarement par le cratère terminal que les matières fondues se dégagent. Il se forme sur le flanc de la montagne, à son pied, ou dans la plaine environnante, quelquefois même à de grandes distances, des crevasses plus ou moins larges, qui se trouvent toujours dans un plan vertical passant par l'axe de la cheminée principale, et c'est par là que les matières liquides se font jour à la surface du terrain (§ 43). Quelquefois la fente donne immédiatement issue à la lave par tous les points de son étendue, mais le plus souvent il se produit, sur sa direction, un ou plusieurs cônes successifs par lesquels la matière en fusion s'échappe. Il arrive même qu'il se fait ainsi de ces cônes adventifs sur plusieurs crevasses à la fois, soit immédiatement, soit successivement, et que tout le terrain s'en trouve couvert.

§ 67. **Forme des courants suivant les pentes.** — S'il arrive que les crevasses d'éruption se fassent au pied du volcan, dans un pays plat, la lave qui en sort s'étend en larges nappes horizontales au milieu de la plaine : c'est ce qui eut lieu en Islande en 1783; des crevasses se formèrent dans la plaine au pied du Skaptar-Jokul, haute montagne volcanique de la contrée, et il s'en échappa un volume immense de matières en fusion. Celles-ci s'étendirent immédiatement sur le terrain, dont elles couvrirent plus de 80 lieues carrées, remplissant tous les bas-fonds et formant un vaste lac de feu dont la profondeur était considérable.

Mais les choses ne se passent pas toujours ainsi; l'écoulement se fait souvent sur des pentes plus ou moins inclinées, et les laves forment à leur surface de véritables courants, plus ou moins longs, dont une partie reste sur le terrain, par suite du refroidissement, et comme témoin de leur passage. Après sa sortie du sein de la terre, la matière en fusion se refroidit bientôt à l'extérieur, se solidifie, en se ridant et se gerçant de toutes les manières, et acquiert ainsi une croûte, ordinairement poreuse, dont l'épaisseur devient de plus en plus considérable. Cette croûte empêche le liquide, ou la pâte qu'elle enveloppe, de s'étendre en largeur, et permet dès lors au courant de conserver une certaine épaisseur; de plus, elle préserve, par son peu de faculté conductrice, la partie inférieure de la lave contre le refroidissement, qui par là peut devenir extrêmement lent. On a vu, en effet, des laves rester liquides ou pâteuses, et conserver une température très-élevée à l'intérieur, pendant des

temps très-considérables; les auteurs en indiquent qui coulaient encore, sur des pentes très-faibles, dix ans après leur éjection, et l'on en cite même à l'Etna qui répandaient des vapeurs vingt-six ans après leur émission du sein de la terre.

Si, après le refroidissement extérieur, la source volcanique continue à fournir, l'écoulement se fait dans le sac consolidé qui s'est formé; sac qui se tourmente alors de toutes les manières, se disloque et se rétablit successivement : de là, torsion, cordellement, irrégularités diverses dans le courant. Quand la source vient à tarir, la matière qui en est sortie continue à s'écouler dans le sac qui la renferme; mais celui-ci s'aplatit successivement, et le milieu s'affaisse en laissant un bourrelet plus ou moins élevé sur ses bords : c'est ce qui se manifeste d'abord à la partie supérieure de la coulée; puis successivement jusqu'au point où la matière liquide, devenant de plus en plus visqueuse, n'a plus la force de tirer après elle les parties solides qui se forment, de les briser et de les pousser en avant. La lave s'arrête alors au fond du sac, qui se termine par un culot plus ou moins épais (fig. 32).

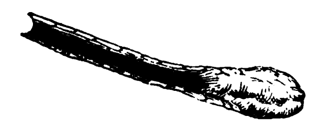


Fig. 32. *Culot de lave arrêté sur une pente.*

§ 68. Il est à remarquer que, quand la pente du terrain sur lequel la lave s'écoule est fort inclinée, la matière, liquide ou pâteuse, forme toujours un courant étroit et de peu d'épaisseur, une lanière seulement sur le flanc de la montagne. Lorsque la source se tarit, il ne reste à la surface du sol, derrière le torrent écoulé, que la pellicule solidifiée de sa surface, qui présente alors une couche mince de matière poreuse, en fragments incohérents, plus ou moins contournés. Les laves pierreuses, susceptibles de prendre la structure porphyrique, ne laissent même presque rien sur des pentes qui s'abaissent jusqu'à 7 à 8 degrés, et ce sont toujours des matières poreuses extrêmement disloquées. Il résulte de là que ce n'est pas par l'écoulement des laves à la surface, comme on le dit quelquefois, que les cimes volcaniques peuvent s'être accrues, et avoir pris surtout cette forme élancée que nous voyons fréquemment; c'est dans des soulèvements, dans des émissions de matières pâteuses restées sur place, dans des injections subséquentes de laves dans les flancs d'un cône antérieur (§ 59), qu'il faut en chercher l'origine; les déjections sous forme de lave ou de scories incohérentes, en s'accumulant vers leur base, tendent plutôt à diminuer la saillie qu'à l'augmenter.

Sur des pentes de 3 à 5 degrés, où la vitesse se ralentit beaucoup, le courant s'élargit et se gonfle tout en cheminant; mais dans ce cas l'écorce augmente aussi d'épaisseur et de solidité, et il se fait alors de violentes dislocations dans le sac pierreux qui enveloppe la matière liquide; les morceaux qui en résultent se soulèvent à la surface du courant, se culbutent les uns sur les autres, tiraillés qu'ils sont par la pâte encore en mouvement à laquelle ils adhèrent, et le dépôt qui reste successivement en arrière présente alors une irrégularité extrême.

C'est seulement quand la matière arrive sur des pentes extrêmement faibles, de moins de $\frac{1}{2}$ degré, c'est-à-dire sur un sol presque horizontal, qu'il s'établit un équilibre entre la résistance du sac solide et la tendance au mouvement que possède la partie liquide; la lave s'arrête alors d'elle-même après s'être étendue sur un certain espace, et forme une galette plus ou moins épaisse dont la surface devient sensiblement unie : c'est ce qui arriva sur une grande échelle dans l'éruption d'Islande, en 1783, où la lave s'arrêta en plusieurs points, et forma des plateaux abrupts d'une grande épaisseur.

Toutes ces circonstances varient en général suivant la nature des matières sorties du sein de la terre, leur état de fluidité, et leur facilité à se consolider plus ou moins promptement. Il y a des produits tellement pâteux qu'ils ne peuvent même couler et qu'ils restent sur l'ouverture, comme il arrive à certains trachytes (§ 74 et 191), qui forment alors des dômes plus ou moins élevés. D'autres, comme diverses obsidiennes, qui paraissent se refroidir et se consolider promptement, s'arrêtent quelquefois sous la forme de grosses larmes sur des pentes même assez fortes, comme au sommet du Ténériffe. Au contraire, les laves pierreuses, qui se refroidissent lentement et restent longtemps fluides, ne s'arrêtent que sur un sol horizontal; ce sont elles qui présentent surtout les variations que nous avons indiquées.

§ 69. **Variations d'une même lave suivant les pentes.** — Il est clair, d'après les détails qui précèdent, que les laves ne peuvent s'accumuler sur une certaine épaisseur, et en nappes uniformes, que sur un terrain sensiblement horizontal; partout ailleurs elles forment ou des lambeaux à surfaces creuses, minces dans leur partie supérieure et plus ou moins épais à l'endroit où ils se terminent en culots, ou bien des dépôts disloqués dont les fragments sont bouleversés de toutes les manières. Pour peu qu'un courant ait une certaine étendue, on peut, dans sa longueur, reconnaître tous ces caractères, suivant l'inclinaison des pentes sur lesquelles il

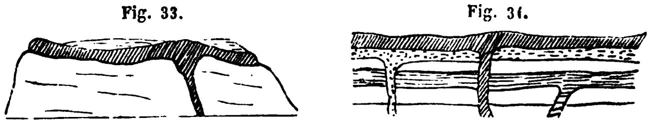
a coulé. Or, la structure intérieure de la lave est aussi en rapport avec sa disposition extérieure. Les traînées qui restent derrière le courant, sur une pente très-inclinée, présentent des parties minces, scoriacées, cordelées, toujours très-poreuses. Sur des pentes moins fortes, la surface des pièces est plus unie, et les pores deviennent plus petits ; sur les pentes de 3 à 5 degrés, les parties disloquées offrent des plaques plus ou moins épaisses, dont la structure poreuse présente une certaine uniformité, et dont le centre devient quelquefois un peu plus compacte, si l'épaisseur est suffisante. Dans les grandes coulées qui ont pu s'accumuler dans la plaine sur une grande épaisseur, ou qui ont rempli des bas-fonds, toute la partie inférieure se prend en masse compacte plus ou moins cristalline, souvent porphyrique (§ 312 *n*), parce qu'alors elle se refroidit lentement et tranquillement ; dans ce cas, elle se divise souvent, sur toute sa hauteur, en colonnes à pans, généralement normales aux surfaces refroidissantes, et la partie supérieure seule est poreuse sur une épaisseur plus ou moins considérable : c'est là ce qu'on voit au Vésuve, à l'Etna, partout où la lave présente une grande épaisseur, et en Islande, dans l'immense dépôt formé par l'éruption de 1783.

§ 70. **Courants superposés.** — Il est arrivé quelquefois que les courants de diverses époques sont venus se rendre dans les mêmes bas-fonds, et se sont superposés. Dans ce cas, ils sont séparés les uns des autres par la partie poreuse qui termine chacun d'eux, quelquefois aussi par des cendres, des rapilli, des tufs volcaniques lancés du volcan dans l'intervalle des coulées. Les parties poreuses, aussi bien que les couches terreuses intercalées, deviennent très-minces lorsque deux coulées se sont succédé à peu de temps l'une de l'autre, comme dans les diverses coulées du Jokul, en Islande ; la masse totale se compose alors d'assises horizontales entre lesquelles on aperçoit à peine une séparation.

§ 71. **Filons de laves.** — Il arrive fréquemment, comme nous l'avons dit (§ 66), que dans les éruptions volcaniques il se forme sur les flancs de la montagne des crevasses plus ou moins larges, par lesquelles la lave se fait jour à la surface du terrain. Ces crevasses se font remarquer longtemps après leur formation, soit parce qu'elles sont restées en partie ouvertes, soit parce que les rapilli qui les ont comblées ont laissé, en se tassant, une espèce de fossé que l'on peut suivre facilement. On les reconnaît ailleurs à de petits effondrements partiels et cratériformes de ces débris (§ 52, 162), qui sont tous dirigés sur la même ligne ; quelquefois aussi on distingue sur les bords des bourrelets de scories qui sont sorties pendant que la

lave bouillonnait dans l'intérieur; enfin elles présentent aussi des traînées de laves qui lient entre eux les differents cônes d'éruption formés sur leur direction.

On ne peut douter que ces crevasses ne soient souvent restées en partie remplies par les laves auxquelles elles ont livré passage, et n'aient donné lieu par conséquent à des *filons*. La conclusion paraît évidente, dans le cas où les coulées se sont étendues par-dessus la fente, sous la forme de nappes, comme dans l'éruption d'Islande que nous avons tant de fois citée; mais il est presque impossible de la vérifier par l'observation dans les volcans actuels, dont nous ne voyons que la superficie. Il faudrait en voir la partie inférieure, ce qui ne peut avoir lieu que dans les anciens dépôts volcaniques soulevés et morcelés de différentes manières, comme il en existe çà et là sur les continents, ou dans les cratères de soulèvement. On en voit, en effet, dans les escarpements qui forment l'enceinte de la Somma (§ 42), le cirque de Ténériffe, les flancs du val del Bove à l'Etna (§ 52, 58), etc., où ils traversent tantôt des dépôts de rapilli et des tufs consolidés nettement caractérisés, tantôt des laves plus ou moins cristallines, et souvent l'une et l'autre de ces matières. Fréquemment une nappe de laves mise au jour se trouve en communication évidente avec un filon qui, après avoir traversé tous les dépôts inférieurs, vient se terminer au milieu d'elles (fig. 33),



Nappes de laves correspondant à des filons.

et il n'est pas rare de rencontrer, les unes au-dessus des autres, plusieurs nappes dont chacune correspond à un filon particulier (fig. 34), auquel elle doit sans doute son origine; le plus récent de ces filons étant celui qui a traversé tous les dépôts successifs pour former le dernier.

§ 72. **Dikes.** — La matière qui constitue les filons est rarement poreuse, si ce n'est quelquefois vers les parois de la roche qui l'encaisse; elle est même fréquemment à grains plus fins que les nappes dans lesquelles le filon vient aboutir; la masse en est quelquefois divisée en prismes perpendiculaires aux parois de la fente, qui ont été alors les surfaces refroidissantes. Cette matière résiste en général assez facilement aux influences atmosphériques, et il arrive souvent que, la roche environnante étant dégradée, enlevée par

les agents extérieurs, le filon reste en saillie sur l'escarpement (fig. 35), ou même au milieu des champs, comme une muraille plus ou moins élevée; c'est cette dernière circonstance qui a fait employer en Angleterre le nom de *dike* (prononcez *deique*), (*digue*, *chaussée*) admis dans la science, qu'on a appliqué plus tard aux filons mêmes.



Fig. 35. *Dike mis à nu par la destruction des roches environnantes.*

§ 73. **Estimation de l'énergie volcanique.** — En voyant d'immenses terrains soulevés, tantôt subitement à la suite des tremblements de terre, tantôt avec lenteur pendant une longue suite d'années, on ne peut douter que l'action qui s'exerce de l'intérieur de la terre au dehors ne soit très-puissante. Or les effets volcaniques nous permettent d'apprécier cette action d'une manière assez positive, non pas par l'énergie des explosions qui se manifestent quelquefois, et que nous ne pouvons mesurer, mais par la hauteur que les laves atteignent en diverses circonstances dans leurs conduits verticaux. Il est certain qu'au Vésuve et à l'Etna les laves sont quelquefois sorties du cratère même, que des courants d'obsidienne se sont fait jour près du sommet du pic Ténériffe, et peut-être même de l'Antisana dans la province de Quito. Or, le cratère de l'Etna est à 3300 mètres au-dessus des mers, le pic Ténériffe, à 3710, le sommet de l'Antisana à 5833; il est donc facile de calculer en pressions atmosphériques le poids de la colonne de lave que la force intérieure a dû soutenir pour la déverser à ces hauteurs. Si cette colonne eût été de l'eau, ce liquide se tenant à $10^{m},5$ par la pression atmosphérique, il faudrait plus de 300 atmosphères pour le soutenir au sommet de l'Etna, plus de 350 au pic de Ténériffe, plus de 550 à l'Antisana. Mais le poids spécifique des laves, du moins à l'état solide, étant entre 2 et 3, il a fallu pour l'Etna entre 600 et 900 atmosphères, pour l'Antisana entre 1000 et 1500. Qu'on juge des effets qu'une telle force doit produire, par l'énergie des machines à vapeur, dont les plus puissantes ne comportent pas ordinairement plus de 4 à 5 atmosphères, et dont on n'a guère fait au-dessus de 10.

§ 74. **Nature des produits volcaniques solides.** — Toutes les matières solides, que les volcans produisent en grande quantité, se rapportent au groupe des silicates, généralement aux silicates anhydres, et surtout à la division de ceux qu'on a jadis confondus

sous le nom de feldspath, qui en forment la masse principale. Ce sont en général des roches composées de matières plus ou moins mélangées, dont il est souvent difficile de déterminer la base, et qu'on ne peut, en conséquence, classer rigoureusement; on est donc obligé de recourir à des divisions artificielles, dont nous indiquerons les principales. Il faut distinguer :

1° Le *trachyte*, roche souvent âpre au toucher, comme son nom l'indique, composée principalement d'albite, tantôt compacte, d'un éclat céroïde ou vitro-résineux, et quelquefois terreuse, tantôt cristalline, dont la masse est finement poreuse, renfermant presque toujours des cristaux des mêmes substances et souvent de la hornblende et du mica noir.

Telle est la nature des roches qui constituent les montagnes formées dans le golfe de Santorin, quelques masses soulevées sur les bords de l'île de Ternate, les sommités de Ténériffe, et un grand nombre de cônes ou de dômes dans différents volcans; rarement le trachyte fait partie des coulées ou des nappes dans les volcans actuellement brûlants.

2° L'*obsidienne*, matière homogène vitreuse, de diverses couleurs, qui se rapproche de l'une ou de l'autre des matières feldspathiques; susceptible, le plus souvent, de se boursoufler beaucoup lorsqu'on vient à la fondre; passant à une ponce tantôt boursouflée, tantôt à petits pores allongés qui déterminent une sorte de structure fibreuse et un éclat soyeux.

Cette matière a été vomie en abondance dans les îles de Lipari, à Ténériffe, dans les volcans des Andes, partout, en un mot, où les bouches volcaniques se sont ouvertes dans les trachytes. Les éruptions sont accompagnées de ponces qui sont rejetées en fragments nombreux; les coulées s'arrêtent souvent en culots épais sur des pentes très-rapides, comme à Ténériffe.

3° Les *laves compactes*, matière à base compacte, de couleur foncée, formée souvent de labradorite, quelquefois de sodalite, renfermant des cristaux des mêmes matières, ou en général des substances feldspathiques, qui donnent à la masse une structure porphyrique plus ou moins distincte. On y trouve assez souvent des cristaux de pyroxène, mais rarement de l'amphibole, quelquefois du mica noir, et, quoique rarement, du péridot

Ces matières constituent le centre des courants épais, la partie inférieure des amas qui se sont formés dans les bas-fonds, et qui se divisent assez souvent en colonnes prismatiques.

4° Les *laves poreuses* ou *scoriacées*, qui sont de même nature que les précédentes, mais où l'on distingue plus rarement les cris-

taux empâtés, et qui offrent la structure poreuse ou cellulaire. Ces matières constituent la partie supérieure des dépôts épais, l'enveloppe des courants, et les traînées qui sont restées à la surface du terrain sur lequel les laves ont coulé.

5° Les *pouzzolanes*, les *tufs volcaniques*, amas de petits fragments scoriacés, ou rapilli, accumulés autour des volcans, ou de matières terreuses qui en renferment une quantité plus ou moins grande. Les *tufs ponceux* sont formés de fragments de ponces, et les *conglomérats trachytiques* de fragments de trachyte, liés entre eux par un ciment tantôt cristallin, tantôt terreux.

6° Il faut ajouter les scories en larmes, en stalactites irrégulières, éparses à la surface des volcans, et les bombes volcaniques qu'on trouve quelquefois à d'assez grandes distances.

Nous verrons plus tard (§ 180, 197, 312) diverses espèces de roches, plus ou moins analogues, qui compléteront la série qu'on observe dans les volcans brûlants.

§ 75. **Etendues des dépôts volcaniques.** — Les volcans ne fournissent sans doute annuellement qu'une bien faible quantité de matière à l'écorce solide du globe, et les mouvements auxquels ils donnent lieu ne changent que bien faiblement le relief des contrées où leur action se manifeste. Cependant, si l'on fait attention qu'il en existe un grand nombre qui agissent depuis les temps historiques, et que l'observation en indique bien plus encore qui ont agi antérieurement, on est conduit à penser que les matières volcaniques doivent avoir acquis une certaine importance, et que leur apparition et leurs effets ont dû apporter de grandes modifications à la surface de notre planète.

Il existe un grand nombre de volcans actifs dans toutes les parties du globe. L'Islande est un centre d'action continue, dont l'île tout entière est le résultat, et dont l'*Hécla* est la principale bouche; l'*Etna* et le *Stromboli* sont connus de toute antiquité, et le *Vésuve* date, pour son état actuel, de l'an 79. En Espagne, les volcans ont repris une nouvelle activité dans la province de Murcie, en 1819. Les Açores ont été continuellement tourmentées, et semblent toutes être sorties du sein de la mer, comme les îles que nous avons vues s'y élever à différentes époques. Les Canaries, les îles du Cap-Vert paraissent être dans le même cas, et ont subi de violentes éruptions. Plus loin se présentent les volcans de l'île Bourbon, de la mer des Indes, des îles de la Sonde, des Philippines, des îles du Japon, des Kuriles, du Kamtschatka, de l'archipel Aleutien, dont plusieurs paraissent avoir eu une puissance considérable; citons encore les volcans des îles Sandwich et de la plupart des groupes de la mer

Pacifique, jusqu'à la Nouvelle-Zélande. Le centre de l'Asie, qu'on supposait jadis exempt de volcans actifs, d'où s'établissait l'hypothèse qu'il ne devait s'en trouver qu'auprès des mers, en est au contraire rempli, et des plus élevés, des plus considérables. Le continent d'Amérique en est couvert depuis la Terre de Feu jusqu'au détroit de Bering.

§ 76. **Volcans éteints.** — Outre les volcans actifs, nous connaissons un nombre immense de volcans éteints, avec leurs cratères d'éruption, leurs coulées de laves aussi caractérisées que celles qui se produisent sous nos yeux; des cratères de soulèvement aussi nets que ceux de Ténériffe et de Palma, tantôt avec des cônes d'éruption dans leur centre, tantôt sans aucune modification postérieure à leur formation. Les produits basaltiques, que donnent rarement nos volcans modernes, se présentent à nous en coulées distinctes ou en nappes plus ou moins morcelées, qui rappellent l'éruption d'Islande en 1783. Nous observons des dépôts trachytiques, non plus comme ceux de Santorin et de Ternate, mais en cônes et en dômes immenses accumulés les uns sur les autres, formant des groupes de hautes montagnes qui occupent de vastes étendues. Tout nous démontre une ancienne activité volcanique prodigieuse qui a modifié plus ou moins la surface terrestre, et qui nous conduit surtout à une foule de comparaisons, du plus haut intérêt, avec des produits et des effets dont les volcans actuels ne nous offrent aucune trace (§180 à 196).

En France, l'Auvergne, le Velay, le Vivarais, une grande partie des Cévennes, le Languedoc, la Provence, nous offrent une masse énorme de produits volcaniques. Les bords du Rhin, dans les provinces d'Eiffel et de Neuwied, le Siebengebirge, les montagnes de Fulda, la Saxe, la Bohême, la Hongrie, la Transylvanie, le Caucase, la Grèce et ses îles, les îles de Lipari, les monts Euganéens, etc., nous en présentent aussi des développements immenses. Ce que nous connaissons du centre de l'Asie, le peu de faits recueillis en Afrique, ainsi que les nombreuses observations faites en Amérique, nous montrent des produits du même genre; enfin la plupart des îles de la mer du Sud, où l'on ne trouve pas aujourd'hui de volcans actifs, nous offrent encore des matières identiques avec celles des terrains volcaniques les mieux déterminés.

§ 77. **Produits volcaniques gazeux.** — Les volcans nous offrent aussi une grande quantité de produits gazeux, les uns permanents, les autres condensables, ou solubles dans l'eau. Ces produits se composent en très grande partie de vapeur d'eau, mais il s'y trouve en même temps des acides chlorhydrique, sulfureux,

carbonique, quelquefois du gaz sulfhydrique, et c'est tantôt l'un, tantôt l'autre qui domine ; il s'y joint diverses substances qui se subliment, ou qui sont entraînées en particules par les courants gazeux. Dans la plupart des solfatares et dans les émanations produites par les fissures et les crevasses des volcans, c'est de l'acide sulfureux qui se dégage ; mais le gaz sulfhydrique l'accompagne aussi fréquemment, et c'est lui qui donne en brûlant les flammes légères qu'on aperçoit souvent pendant la nuit. Au volcan de Pasto, les *fumarolles* du cratère ne présentent plus que de l'acide carbonique ; à Java, c'est le même gaz, qui se dégage avec une abondance extrême de la solfatare éteinte nommée *Guevo-Upas* ou *Vallée du Poison*, objet de terreur pour les habitants. Le sol est partout couvert de carcasses de tigres, de chevreuils, de cerfs, d'oiseaux, et même d'ossements humains ; car tout être vivant est asphyxié dans ce lieu de désolation. M. de Buch fait remarquer que dans les émanations gazeuses des volcans, c'est l'acide chlorhydrique qui se manifeste d'abord, au moment de la plus grande intensité de l'action volcanique ; que l'acide sulfureux apparaît lorsque cette action commence à diminuer, et que l'acide carbonique vient ensuite, en se continuant pendant des siècles, lors même que toute action paraît être entièrement finie : aussi provoque-t-on souvent des dégagements prodigieux de ce gaz en fouillant les rapilli les plus anciens, comme il arrive fréquemment aux environs de Clermont en Auvergne.

§ 78. **Action destructive des gaz. Éruption boueuse de Java.** — Les produits gazeux, le plus souvent à une température élevée, et mêlés à la vapeur d'eau, agissent puissamment sur les matières solides environnantes, les désagrégent, les décomposent de toutes les manières, les réduisent en poussière, en bouillie, et en forment de nouveaux composés de toute espèce : c'est ce qu'on voit dans toutes les solfatares, où il faut prendre souvent des précautions pour ne pas tomber dans des masses de matières boueuses parfois très-échauffées. Mais rien n'est comparable sous ce rapport aux volcans de Java ; les vapeurs acides et aqueuses, qui y sont d'une abondance extrême, détruisent toutes les roches, et en forment une pâte qui bientôt ne peut plus résister à l'action explosive de l'intérieur. Il se fait alors d'épouvantables éruptions, non plus de laves, comme dans les volcans ordinaires, mais de masses énormes d'eau bouillante, chargée d'acide sulfurique et de limons épais, qui détruisent, entraînent tout sur leur passage, et couvrent toute une contrée de fange sulfureuse dont la matière est désignée sous le nom de *buah* : c'est ce qui est arrivé en 1822, lors de l'éruption du Gallung-Gung, qui, au milieu des tremblements de terre et d'hor-

ribles mugissements, fut considérablement abaissé, tronqué au sommet, et entièrement bouleversé. Il sortit de ses flancs crevassés des torrents d'eau chaude, sulfureuse et boueuse, et un nombre considérable d'habitants furent entraînés dans les eaux ou ensevelis sous des dépôts de vase, pendant les journées des 8 et 12 octobre. Il en fut de même du volcan de Teschem, ou mont Idienne, dans le cratère duquel Leschenaut avait indiqué un lac constamment alimenté d'acide sulfurique. Cette montagne fut entièrement bouleversée en 1817, et les eaux acides qui en sortirent désolèrent toute la contrée. Quelque chose d'analogue arriva sans doute en 1772 au volcan de Papandayan, la plus haute montagne du pays, qui fut engloutie dans un lac de boue, entraînant 40 villages et leurs habitants dans la catastrophe.

§ 79. **Eruption boueuse de Quito.** — Ces éruptions de boue rappellent celles qui ont eu lieu au Pérou, quoique avec des caractères différents. Les volcans de cette contrée, qui, comme ceux de Java, n'ont presque jamais produit de laves, ont quelquefois vomi de leurs flancs des torrents de boue, qu'on nomme *moya*, tantôt sulfureuse comme le *buah* de Java, tantôt carbonifère : c'est ce qui arriva en 1698, où le volcan de Carguaraizo s'écroula en couvrant de boue plus de 29 000 hectares de terrain; et en 1797, où le village de Pellileo, près de Rio-Bamba, fut enseveli sous une masse de boue noire, etc. Ce qui caractérise les éruptions du Pérou et en fait un phénomène plus étrange, c'est qu'il arrive fréquemment que ces eaux bourbeuses, sorties du sein de la terre, sont remplies d'animalcules infusoires et de petits poissons, dont l'espèce vit dans les lacs du voisinage; la quantité de ces derniers a été quelquefois assez considérable pour causer des maladies épidémiques par leur putréfaction.

§ 80. **Gaz dégagés des laves.** — On conçoit facilement que des entrailles de la terre il puisse se dégager, par les fissures qui communiquent à la surface, des gaz et des vapeurs de diverses espèces; mais, ce qui est plus remarquable, il s'en dégage aussi des laves, lors même que, sorties du volcan, elles n'ont plus rien de commun avec lui. Tant que la lave est fluide, et à une haute température, il ne s'en échappe rien; mais à peine a-t-elle commencé à se consolider, et par conséquent à se refroidir, que les gaz se dégagent avec abondance. Les courants, ou les matières qui ont rempli les bas-fonds, émettent alors constamment de la vapeur d'eau, de l'acide chlorhydrique, du sel ammoniac qui se dépose à la surface, et des chlorures de fer, sans compter le réalgar, le fer oligiste, etc., qui se subliment quelquefois dans les fissures. Il faut

par conséquent que la lave elle-même renferme toutes ces matières, qui y restent engagées, on ne sait comment, pendant tout le temps que la masse est fluide ou pâteuse, et qui se dégagent à mesure qu'elle se solidifie et se refroidit, de manière à n'en plus présenter que des traces lorsqu'elles renferment de la sodalite (voyez *Minéralogie*)[1]. On a supposé que c'étaient toutes ces matières qui donnaient aux laves pierreuses la facilité de conserver leur fluidité pendant bien plus longtemps que les matières analogues que nous pouvons préparer artificiellement.

§ 81. **Salzes ou volcans d'air, volcans boueux.** — Indépendamment des éruptions boueuses accidentelles dont nous venons de parler, il se fait dans beaucoup de localités, à travers des crevasses, souvent loin des volcans ordinaires, des dégagements continus de gaz hydrogène carboné, tantôt seul, tantôt accompagné d'une quantité plus ou moins considérable d'eau et de matières boueuses qu'il pousse en avant : c'est ce qu'on a nommé les *volcans*



Fig. 36. *Salzes de Carthagène.*

d'air, les *volcans de boue* (fig. 36), et ce qu'on désigne aussi sous le

[1] Il est bon de rappeler ici, suivant l'observation de Gay-Lussac, que l'argent en se fondant, ce qui exige une température très-élevée, absorbe une assez grande quantité d'oxygène, et que ce gaz, qui reste enfermé dans la masse tant qu'elle est en fusion, se dégage aussitôt que le refroidissement et la solidification s'opèrent; il se fait alors une tuméfaction de la surface, qui se couvre d'excroissances dendritiques. C'est ce phénomène qu'on nomme *végéter*, *rocher*, en terme d'affinage par la coupellation.

nom de *salzes*, parce que le liquide renferme souvent des matières salines et entre autres le sel commun et le sulfate de chaux.

Ces éjections de matières vaseuses produisent, comme les éjections de scories dans les volcans (§ 58), des cônes, ordinairement peu élevés, qui portent aussi au sommet une cavité cratériforme fréquemment remplie de boue liquide que le gaz soulève, et à travers laquelle il se dégage en grosses bulles dont chacune projette au dehors une portion de la matière terreuse. Il y a parfois, sur une surface peu étendue, une grande quantité de ces cônes en activité, et dont quelques-uns atteignent 7 à 8 mètres de hauteur; d'autres, en grand nombre, petits à l'état naissant, remplacent successivement ceux dans lesquels les phénomènes cessent d'avoir lieu et s'agrandissent de plus en plus par les matières rejetées. Quelquefois cette réunion de cônes se trouve au sommet d'une butte de 50 à 200 mètres de hauteur, formée de matière argileuse qui paraît être évidemment le résultat des anciennes éjections : le milieu en est souvent un lac de boue dont la surface est consolidée çà et là. Dans certaines contrées, on trouve souvent de ces buttes entièrement desséchées, où tout dégagement de gaz, d'eau et de terre a cessé entièrement; mais il arrive quelquefois que les phénomènes s'y renouvellent avec violence; que de légers tremblements de terre se font sentir, que tout à coup des blocs de terre desséchée sont lancés au loin, et que des coulées de boue se frayent un nouveau passage : on assure même qu'il y a parfois, pendant quelques minutes, dégagement de fumée et de flammes.

Ces phénomènes se présentent en un assez grand nombre de lieux à la surface de la terre. Il existe beaucoup de salzes, ou *maccalubes*, dans le Modénais, et il s'en trouve en Sicile, entre Arragona et Girgenti. Pallas en a observé en Crimée, dans la presqu'île de Kertche, à l'île de Taman; M. de Humboldt en a décrit et figuré dans la province de Carthagène, en Amérique méridionale, et l'on en cite à l'île de la Trinité et dans l'Hindoustan.

§ 82. **Fumarolles, Geyser.** — Ces deux sortes de phénomènes sont encore des effets qui se manifestent de l'intérieur de la terre à l'extérieur. On nomme *fumarolles* des éruptions de vapeurs à 100 degrés qui s'échappent des crevasses du sol sous la forme de colonnes blanches, parfois de 10 à 20 mètres de hauteur, et souvent avec bruit comme si elles sortaient d'une chaudière à vapeur, ce qui indique la pression qu'elles supportent alors dans le sein de la terre. On observe les fumarolles non-seulement dans les cratères des volcans actifs et dans les solfatares, deux circonstances où elles sont généralement peu considérables, mais au milieu même de certains

terrains calcaires, où elles prennent un grand développement : c'est ce dernier cas qui se manifeste en Toscane, où les jets de vapeur groupés par 10, 20, 30 à Monte Cerboli, Castel Nuovo, Monte Rotondo, se trouvent disposés sur une ligne à peu près droite, de 30 à 40 kilomètres, qui semblent indiquer une fente.

Ces jets de vapeurs entraînent toujours divers agents qui, à cette haute température, attaquent plus ou moins les roches environnantes. Au Vésuve, ils renferment de l'acide chlorhydrique ; à la solfatare de Pouzzoles, du gaz sulfureux et de l'acide sulfhydrique ; en Toscane, ils entraînent de l'acide borique, qu'on reconnaît dans les lagunes, ou *lagoni*, résultant de leur condensation, et qui pénètre quelquefois avec du soufre, du gypse, des oxydes de fer, dans les fissures des roches à travers lesquelles les phénomènes se manifestent.

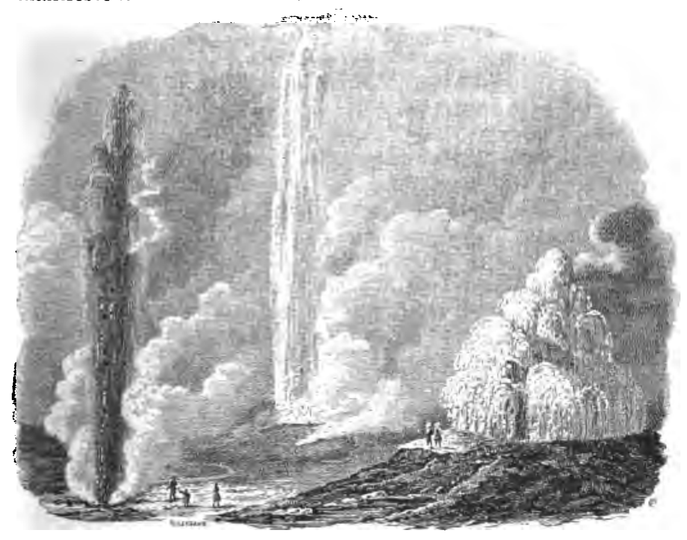


Fig. 37. *Geyser de l'Islande.*

Sous le nom de *geyser* (fig. 37), qui signifie *jaillissant* suivant les uns et *furieux* suivant les autres, on désigne des sources jaillissantes d'eau bouillante, les unes continues, les autres intermittentes, dont on trouve un grand nombre en Islande. On en indique d'un grand volume, mais il en est une surtout qui, de demi-heure

en demi-heure, projette, suivant les auteurs, une colonne d'eau bouillante de 18 pieds de diamètre, qui parfois s'élève à 150 pieds de hauteur. Les eaux de ces sources renferment de la silice, qui se dépose bientôt au dehors, à l'état d'hydrate, sur tous les corps environnants, et qui forme quelquefois des monticules très-étendus, au sommet desquels se trouve l'ouverture du goufre par où le liquide s'échappe.

§ 83. Les sources thermales, et beaucoup de sources minérales froides, sans présenter des circonstances aussi remarquables que celles que nous venons de citer, se rapportent cependant au même ordre de phénomènes, parce qu'elles viennent aussi des profondeurs de la terre pour se rendre à l'extérieur. Ces eaux renferment également en solution différentes matières, qu'elles amènent à la surface du sol, comme de la silice, du carbonate de chaux, des oxydes de fer, etc.

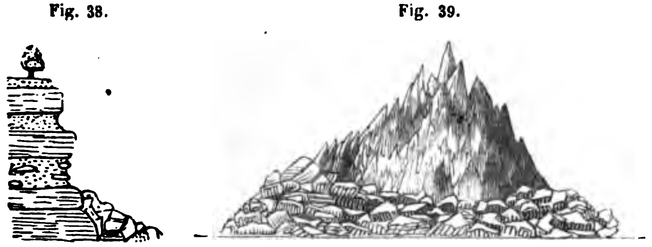
3° INFLUENCE DES AGENTS EXTÉRIEURS A LA SURFACE DU GLOBE.

§ 84. **Effets atmosphériques.** — Les variations de la chaleur, l'air, les vents, la sécheresse et l'humidité, agissent d'une manière très-sensible sur la plupart des substances minérales; il n'est pas une roche à la surface de la terre qui n'en présente les traces à l'extérieur, et qui n'y offre un état d'agrégation tout différent de celui qu'on reconnaît à l'intérieur. C'est ce qu'on observe, en tout son jour, dans les escarpements formés pour la confection des routes dans les pays de montagnes, où l'on a été obligé de tailler dans le roc; la partie extérieure des roches est décolorée, désagrégée plus ou moins profondément, tandis que l'intérieur, fraîchement mis à nu, conserve toutes ses couleurs et son état naturel d'agrégation. Or, ce ne sont pas toujours des effets produits à des époques reculées; il s'en fait parfois d'analogues sous nos yeux, et il suffit en certains cas de quelques années pour qu'ils se manifestent assez distinctement, non-seulement à la surface de la masse, mais à la profondeur de plusieurs centimètres : c'est ce qu'on reconnaît dans quelques anciennes carrières de marbre, même de certains granites, et dans quelques pierres taillées employées çà et là. L'effet est d'autant plus prompt, d'autant plus sensible, que les matières sont plus susceptibles de s'imbiber d'humidité, et d'en être privées facilement par la sécheresse, alternatives qui produisent une désagrégation très-rapide lorsqu'elles se répètent souvent, comme cela a lieu généralement dans les montagnes. Les matières qui se dégradent avec le plus de facilité sont celles qui présentent une struc-

ture granulaire, qu'elle soit terreuse ou cristalline; celles qui ont une structure feuilletée, ou bien les masses compactes fracturées, fendillées à la surface, comme il s'en présente si souvent dans les montagnes. La gelée, qui vient surprendre l'eau dont une roche est pénétrée, est aussi une cause puissante de destruction, parce que la dilatation qui résulte de la congélation du liquide détermine dans la masse une multitude de fissures dans tous les sens. Tant que le froid continue, les fragments restent unis par la glace qui les cimente; mais au dégel, tout tombe en écailles, en grains ou en poussière.

On ne peut parcourir les montagnes sans trouver des traces évidentes de ces dégradations. Dans les escarpements calcaires (fig. 38),

Fig. 38. Fig. 39.



Effets de la degradation journalière des montagnes.

on voit les parties dont la texture est lâche, se creuser plus ou moins profondément, et les bancs plus solides rester en surplomb. De là des éboulements de ces derniers, qui se détachent successivement en blocs plus ou moins volumineux, soit par leur poids, soit par suite des fissures dont ils sont naturellement remplis. Dans les hautes montagnes (fig. 39), formées le plus ordinairement de couches très-inclinées, qui présentent leurs tranches ou leurs plans à la pente, qui offrent souvent de hautes aiguilles, nous observons encore des dégradations plus marquées; il s'en détache à chaque instant des parties, et surtout dans les moments du jour où les variations atmosphériques sont plus sensibles ; au moment du dégel, il se fait d'énormes *avalanches de pierres*, qui roulent sur les pentes avec une étonnante rapidité, et entraînent tout ce qui se trouve sur leur passage; souvent aussi il se détache des blocs volumineux, et parfois des portions considérables de montagnes s'éboulent avec fracas. De là des masses énormes de débris qui s'accumulent au pied des pentes, et couvrent quelquefois des étendues considérables.

§ 85. **Dégradations attribuées à ces effets.** — On attribue souvent aux influences atmosphériques, longtemps continuées, la dégradation que beaucoup de roches présentent à la surface des continents. Presque toutes, en effet, sont altérées plus ou moins profondément à la surface, où elles présentent un état d'agrégation beaucoup moins solide, beaucoup moins homogène qu'à l'intérieur. Dans presque toutes les carrières, on est obligé de déblayer d'abord une assez grande masse de matières avant de pouvoir exploiter des blocs homogènes, solides, exempts de fissures, et conservant les couleurs vives qu'on recherche toujours, soit pour l'ornement, soit pour l'architecture monumentale; c'est ce qu'on voit surtout dans les exploitations de marbre, et en général dans celles de calcaires compactes. Certains granites (§ 312 *a*) (voy. *Minéralogie*, articles *Quarz*, *Feldspath*, *Mica*) sont désagrégés si profondément, que toute la surface du terrain ne présente qu'un amas de graviers en collines arrondies que les eaux de pluie ravinent de toutes les manières. Fréquemment on rencontre ces granites à la surface du terrain, en espèces de gros blocs arrondis, empilés les uns sur les autres (fig. 40, B), souvent de la manière la plus bizarre, quelquefois en équilibre

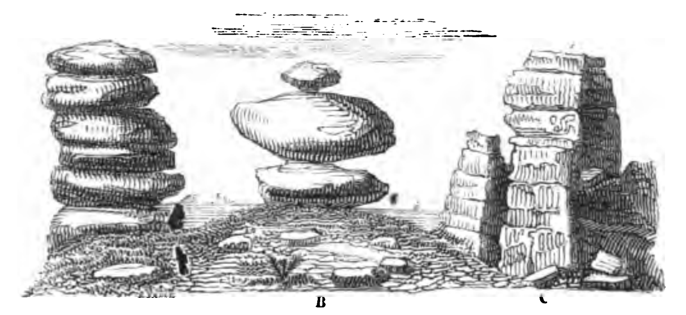


Fig. 40. *Dégradations du granite en différents lieux.*

assez peu stable et susceptibles d'osciller sous le plus léger effort : c'est ce que présentent surtout certains granites porphyroïdes, à grands cristaux, souvent rosés, de feldspath laminaire, qu'on rencontre dans un grand nombre de localités, et qui constituent, sur le plateau central de la France, des chaînes particulières du Limousin au Gévaudan.

Dans les montagnes où le granite se décompose avec facilité, on a cru remarquer que la masse, plus ou moins découpée, présente des espèces d'assises horizontales, qui sont partagées par

des fissures verticales plus ou moins distinctes, de manière à offrir une sorte d'agglomération de parallélipipèdes irréguliers (fig. 40, C). On a supposé dès lors que, par suite des influences atmosphériques, ces blocs angulaires se sont de plus en plus altérés sur les arêtes et sur les angles; que les parties ainsi désagrégées se sont successivement détachées, et qu'enfin il en est résulté des masses arrondies, tantôt empilées les unes sur les autres comme des fromages, tantôt isolées, comme nous les voyons aujourd'hui à la surface du sol. On croit observer quelquefois des passages entre les masses les plus angulaires et les blocs les plus arrondis, entre celles où la position d'équilibre se fait en quelque sorte sur un point, et d'autres dont la jonction présente des surfaces horizontales assez larges comme fig. 40, A et C.

§ 86. Il est bon cependant d'observer que les modifications purement atmosphériques, et capables de produire une désagrégation complète, comme celle que l'on suppose ici, ne se font sous nos yeux qu'avec beaucoup de lenteur, en sorte que, pour arrondir ces blocs de granite, il faut nécessairement admettre un laps de temps immense. Aussi a-t-on pensé à chercher une autre explication, et l'on a supposé qu'à de certaines époques il y avait eu des émanations gazeuses plus ou moins analogues à celles des solfatares (§ 64 et 78), qui détruisent si rapidement les produits volcaniques les plus solides, et que les phénomènes observés en étaient le résultat. Cette idée peut être appuyée sur l'altération profonde qu'ont alors subie ces roches; altération telle, que les matières terreuses qui en résultent sont solubles dans des acides qui n'attaquent ni les roches granitiques intactes, ni même les produits de la désagrégation lente qui s'en fait journellement à l'air. L'effet de ces vapeurs aurait été de produire sur place les matières terreuses et graveleuses qui recouvrent si souvent les pays granitiques, et au milieu desquelles se trouvent des parties plus ou moins volumineuses, fréquemment aussi de forme arrondie, que la décomposition n'a pas pénétrées. On concevrait alors que des courants d'eau ont pu entraîner les matières entièrement altérées, en laissant sur place toutes les parties qui ne l'étaient pas, et qui se présentent aujourd'hui comme des blocs empilés à la surface des terrains émergés.

§ 87. **Action des vents, Dunes.** — Les vents n'ont par eux-mêmes qu'une bien faible action sur les masses minérales solides; ce n'est guère que sur les dépôts de sables fins et meubles que leurs effets se font sentir, et donnent lieu à quelques observations intéressantes. Dans les déserts d'Afrique et d'Arabie, les vents soulèvent des nuages immenses de sables brûlants, les transportent d'une

extrémité à l'autre, et déterminent subitement de vastes collines, qu'un nouveau coup de vent vient détruire à leur tour. Les côtes sableuses des mers sont exposées à des effets analogues ; le moindre coup de vent sur une plage unie y met le sable sec en mouvement, et détermine à sa surface une multitude de rides séparées par un intervalle plus ou moins large ; à la bouffée de vent suivante, toutes ces rides rentrent en mouvement, et bientôt chacune d'elles se trouve occuper la distance qui la séparait de la ride précédente. C'est en petit le phénomène des *dunes*, qui se forment sur les côtes plates et sableuses de nos continents, et qui envahissent de très-grands espaces dans la plaine, en arrêtant tous les petits ruisseaux, et formant des marais ou des lagunes plus ou moins étendus. Ces dunes sont des collines de sable fin qui ont ordinairement 6 à 8 mètres de hauteur, quelquefois 10 à 20, même 30, et très-rarement vont jusqu'à 80 et 100 ; elles sont placées irrégulièrement sur toute l'étendue de la plage, et dans des directions variées, comme les vents qui leur donnent naissance. Leur nombre augmente continuellement à mesure que la mer fournit des sables, et, sans cesse en mouvement, elles avancent constamment dans l'intérieur des terres. Les vents de mer poussent le sable du pied *a* d'une butte vers le sommet *b* (fig. 41), d'où il tombe suivant *bc*, en formant un talus d'éboulement toujours plus rapide que le talus antérieur. Il en résulte qu'une butte, comme *abc* (fig. 42), s'accroît successivement en arrière si de nouveaux sables lui sont fournis en avant, ou se déplace si ce sont les mêmes sables qui se trouvent continuellement remaniés. C'est ainsi que chaque colline s'avance dans les terres, et que leur ensemble a couvert de sables, sur toute la longueur du rivage, des étendues plus ou moins larges, suivant les localités ; beaucoup de villages ont été successivement envahis, beaucoup d'autres sont menacés, et seront tôt ou tard ensevelis si l'on ne parvient à arrêter la mobilité des sables par des plantations convenables. La marche est plus ou moins rapide, suivant les lieux et suivant les temps ; on a vu des dunes s'avancer de 20 à 25 mètres par année, d'autres de 70 à 80, et même jusqu'à 300 ; mais il paraît y avoir des moments d'arrêt comme des moments de charriage, et d'ailleurs, toutes les dunes d'un même rivage ne marchent pas à la fois, de sorte que leur ensemble n'a couvert que des bandes de terrains peu étendues depuis

Fig. 41. Fig. 42.



Marche des dunes.

le commencement du phénomène (6 à 8 kilomètres sur les côtes de la Guienne), et qu'en définitive on ne peut admettre que 1 à 2 mètres d'avancement par année.

§ 88. **Action de la foudre.** — Pour terminer l'énoncé des effets atmosphériques, nous ajouterons que la foudre peut en produire encore d'assez remarquables. D'un côté, on a observé, dans un assez grand nombre de lieux, et sur diverses roches, des traces de fusion produite par la chute de la foudre dans les hautes montagnes. D'un autre, les observations de Friedler nous ont appris qu'en pénétrant dans les sables la foudre y creuse des canaux étroits, irréguliers, souvent très-profonds, dont les parois sont consolidées par la fusion du quarz même ; c'est ce qu'on a observé aujourd'hui dans un assez grand nombre de lieux, en Amérique, en Angleterre, en Allemagne. Il y a aussi des cas où des portions considérables de rochers sont retournées par la foudre, arrachées de leur place, lancées à de grandes distances, ou brisées de différentes manières.

§ 89. **Effets des eaux. Action dissolvante.** — Les eaux jouent un rôle très-important dans les changements qui se font à la surface du globe; quelquefois par leur action dissolvante, mais le plus souvent par leur action délayante, par leur poids, et surtout par les mouvements dont elles peuvent être animées, par la force de transport qui résulte de leur vitesse. De là des modifications diverses, dont il faut apprécier l'importance et l'étendue.

Les eaux exercent une action chimique sur les substances qu'elles peuvent dissoudre, soit immédiatement, soit au moyen de l'acide carbonique qu'elles renferment quelquefois. Immédiatement, elles agissent sur quelques sels très-solubles qu'elles enlèvent de côté et d'autre ou sur quelques dépôts de sulfate de chaux qu'elles corrodent de diverses manières. Chargées plus ou moins d'acide carbonique, elles exercent leur action sur les roches calcaires, soit dans le sein de la terre, d'où elles reviennent former des tufs à la surface ; soit dans les hautes montagnes, surtout au moment de la fonte des neiges. Dans ce dernier cas, l'eau, qui s'empare généralement de l'acide carbonique renfermé dans l'air, en contient beaucoup plus qu'en tout autre temps, par suite de la basse température à laquelle elle se trouve ; et, coulant le long des masses calcaires, elle y forme des sillons verticaux, qui s'approfondissent de plus en plus et provoquent quelquefois des éboulements plus ou moins considérables. Ces effets se font remarquer surtout dans les Alpes et les Pyrénées, là où les neiges séjournent pendant une partie de l'année et se fondent petit à petit dans la belle saison. Dans les Cévennes et le haut Jura, les gouttes de pluie corrodent les saillies calcaires, et les blocs isolés

des plateaux élevés, et les eaux résultantes y creusent de petits sillons qui suivent la direction des pentes que présentent leurs surfaces.

§ 90. **Effets de l'action délayante.** — L'eau, en pénétrant dans les couches argileuses, les ramollit quelquefois au point que ces masses ne peuvent plus se soutenir sous les pentes qu'elles avaient eues jusqu'alors, et qu'elles s'écroulent sous leur propre poids : c'est ce qui a causé un grand nombre d'éboulements dans les terrains de sédiment. Une des catastrophes les plus remarquables qu'on puisse citer en ce genre est celle qui arriva, en 1806, au *Ruffiberg* ou *Rosberg*, en Suisse, après une saison très-pluvieuse. Les matières argileuses, qui servent de ciment aux cailloux roulés dont la montagne est formée, se trouvant délayées, il se détacha tout à coup une masse de plus de 50 millions de mètres cubes qui se précipita dans la vallée, y forma des collines de 60 mètres de hauteur, et ensevelit plusieurs villages sous des amas de fange et de cailloux. C'est dans des circonstances analogues que fut détruite la ville de Pleurs, dans la Valteline, en l'an 1618, et une partie de la ville de Salzbourg, en 1669. Souvent on a vu, sur une petite échelle, des couches puissantes de roches glisser lentement dans le fond des vallées sur les couches de matières argileuses délayées qui les supportaient, et déplacer tranquillement les plantations, les habitations mêmes qui les couvraient, sans que les propriétaires s'en aperçussent au premier moment.

Les eaux qui filtrent à travers les roches jusqu'aux couches argileuses qui peuvent les arrêter, et sur le plan desquelles elles se dirigent au jour, délayent quelquefois aussi ces matières, en entraînent successivement des parties, et surtout les sables qui peuvent les recouvrir. Il en résulte, vers les points où elles sortent de terre sur le penchant des coteaux, des vides plus ou moins étendus qui laissent hors d'appui les masses solides superposées, et celles-ci, se dislo-

Fig. 43.

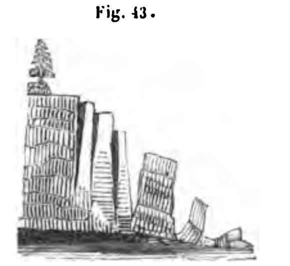
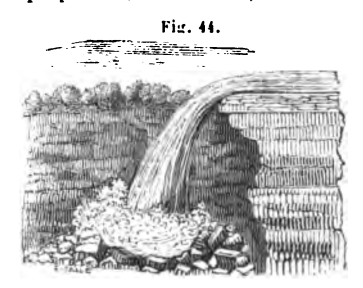


Fig. 44.



Escarpements produits par l'action des eaux.

quant alors de diverses manières (fig. 43), sont bientôt culbutées : c'est ce qu'on voit fréquemment dans certains escarpements au pied desquels se trouvent des couches argilo-sableuses qui conduisent les sources au dehors.

Quelque chose d'analogue arrive lorsque, baignant le pied des montagnes, les eaux y trouvent des matières qu'elles peuvent délayer ou désagréger. Ces matières étant détruites, les parties supérieures du terrain se trouvent bientôt en surplomb, et il se fait des éboulements plus ou moins considérables : c'est ce qui a lieu sur les côtes maritimes, sur les bords des lacs ou des rivières, où il se forme ainsi des escarpements plus ou moins élevés, qui se dégradent de plus en plus. La même chose se passe quelquefois au pied des cascades qui se précipitent par-dessus des rochers à pic (fig. 44), formés de dépôts alternatifs calcaires et argileux ; ces derniers sont désagrégés et entraînés petit à petit par les eaux qui suintent le long de la paroi, ou qui rejaillissent après la chute, et les autres couches, mises en surplomb, ne peuvent manquer de s'ébouler tôt ou tard sous leur propre poids, et à l'aide des fissures qui résultent de leur soulèvement (§ 132). Dans ce cas, la cascade s'enfonce dans la masse du terrain, et, le même effet se répétant successivement, il se forme une gorge de toute la largeur du ruisseau, et qui s'approfondit de plus en plus. C'est ainsi que la cascade du Niagara, par laquelle le lac Erié se précipite dans le lac Ontario, a reculé successivement depuis l'établissement des Européens en Amérique, et sans doute a creusé antérieurement le lit profond par lequel ses eaux s'échappent ensuite.

§ 91. **Effets du poids des eaux.** — L'eau agissant par son poids comme tous les autres corps, doit contribuer souvent aux éboulements que nous avons signalés, et il n'est pas moins certain qu'elle exerce ainsi une action puissante sur les digues qui peuvent la retenir. Nous en voyons les malheureux effets dans les inondations auxquelles diverses contrées sont exposées par suite de leur position au-dessous des fleuves, des lacs ou des mers, retenus par des digues naturelles ou artificielles. La formation du *Zuyderzée*, en 1225, et du *Bies-Bosch*, en 1421 ; les inondations nombreuses des *polders*, celles qui ont désolé dernièrement la Camargue, en sont de tristes exemples, auxquels, à la vérité, l'action du courant a eu autant de part que l'élévation des eaux. Lorsque, par suite des éboulements. certaines vallées se trouvent barrées, les eaux amassées en lacs réussissent souvent, par leur poids seul, à pousser devant elles les obstacles qui s'opposaient à leur passage : c'est ce qui est arrivé dans la vallée de Bagne en Valais, en 1818, et ce qu'on a vu

souvent à la suite des tremblements de terre, où les eaux, arrêtées momentanément, ont fini par faire plus de dégâts dans la contrée que le phénomène passager qui venait de l'ébranler (§ 30 et 95).

§ 92. **Action des eaux courantes.** — A l'action délayante et au poids des eaux, se joint souvent une nouvelle force par le mouvement dont elles peuvent être animées, et qui dépend de la vitesse acquise en parcourant des pentes plus ou moins rapides. Cette force est quelquefois d'une prodigieuse intensité, et capable des plus grands effets, qu'on peut surtout observer dans les montagnes. Il n'est personne qui n'ait eu l'occasion de la remarquer, après les orages, sur les dépôts meubles si fréquents à la surface de la terre, et d'observer les ravines qui se trouvent alors creusées ; mais les effets sont d'autant plus puissants que les pentes sont plus rapides et la masse d'eau plus considérable, de sorte que quand une trombe ou un violent orage vient fondre sur une haute montagne, il arrive souvent que le terrain, à moins qu'il ne présente absolument que le roc vif, se trouve balayé et raviné à une grande profondeur. Les fissures nombreuses dont la surface des rochers est criblée, donnant immédiatement prise à l'action des eaux, il se détache aussitôt une masse considérable de fragments qui augmentent de plus en plus le pouvoir destructeur du courant. Bientôt alors des blocs de toutes dimensions se trouvent arrachés à la montagne[1], enlevés, transportés à de grandes distances, décuplant, centuplant les effets en raison de leur masse et de la vitesse qu'ils acquièrent. De là des ravins effrayants sur des pentes jadis unies, et une immense accumulation de débris au pied de la montagne et sur toute la partie du terrain où la vitesse s'est successivement ralentie. Les torrents gonflés par les circonstances de ce genre, ou par la fonte subite des neiges, produisent également d'effroyables ravages ; ils enlèvent tout sur leur passage, jusqu'au roc vif, que bientôt ils attaquent lui-même avec force, au moyen des fragments et des blocs qu'ils poussent avec rapidité. Rien de plus effrayant que ces cours d'eau, qu'il faut avoir vus dans les gorges qu'ils parcourent, et roulant quelquefois des rochers de 10 à 15 mètres cubes, pour s'en faire une idée exacte.

Si, après la rentrée du torrent dans ses limites ordinaires, on parcourt les parties de la vallée qu'il a remplies, on trouve des change-

---

[1] Toutes les roches qui composent la surface terrestre sont fracturées de toutes les manières ; c'est à la faveur de ces fissures que des blocs énormes peuvent être détachés en certains points par la force des eaux, tandis qu'en d'autres on voit en quelque sorte le terrain résister indéfiniment.

ments considérables dans le nombre et la position des blocs qu'on y observait auparavant. On remarque aussi, tant sur le fond que sur les parties latérales, jusqu'à la hauteur des eaux, que les rochers sont fraîchement usés, cannelés, même très-profondément lorsqu'ils sont calcaires ; ce qui résulte évidemment de l'action des blocs durs et pesants que le courant entraînait. Sur d'autres points, des cassures fraîches indiquent les arrachements violents de parties plus ou moins considérables de rochers, en même temps que la propreté du lit atteste le balayage des fragments et des terres qui se détachent journellement des parois.

§ 93. On est souvent conduit à attribuer aux plus faibles courants, aux filets d'eaux qui coulent sur les rochers, une action qui à la longue semble déterminer des sillons tortueux plus ou moins profonds. Il est probable que ces effets ont lieu au moyen des grains de sable qne ces eaux entraînent journellement, à moins qu'ils ne soient dus à une action délayante sur des rochers qui se désagrégent facilement dans les alternatives d'humidité et de sécheresse. On trouve partout de ces sillons au milieu des montagnes, et même sous les glaciers où ils sont produits sans doute par les eaux qui proviennent de leur fusion.

§ 94. **Effets des chutes d'eau.** — Les eaux qui tombent en cascade d'une certaine hauteur produisent aussi des effets particuliers. Ce sont des cavités arrondies, plus ou moins larges, plus ou moins profondes au pied de la cascade, où elles sont produites tant par le choc des eaux que par les débris de rochers qu'elles charrient. On observe fréquemment au fond de ces cavités des cailloux roulés, plus ou moins nombreux, plus ou moins volumineux, qui, mis en mouvement par les eaux, finissent par creuser la roche assez profondément, déterminent sur les parois un poli plus ou moins vif, ainsi que des stries et des sillons circulaires. Quelquefois le diamètre intérieur des trous se trouve plus ou moins élargi par ce moyen, et l'orifice est resté plus petit. On cite de ces cavités dans toutes les parties du monde, soit auprès des cascades actuelles, soit au milieu des montagnes où elles ont été produites à des époques anciennes.

Nous devons mentionner des cavités du même genre au milieu des rivières, où elles sont produites par les remous des eaux qui impriment un mouvement giratoire aux sables et cailloux roulés qu'elles charrient. Il est probable qu'il s'en trouve également au milieu des mers peu profondes, et que c'est l'origine des tourbillons connus en diverses localités, dont quelques-uns sont très-dangereux pour les petits bâtiments qui s'en approchent.

Ces sortes de cavités, surtout lorsqu'on les trouve dans les montagnes, loin de toute chute d'eau aujourd'hui connue, portent le nom de *chaudière* et *marmite des géants*, *pot-holes* des Anglais.

§ 95. **Débâcle des lacs.** — Les lacs qui se forment quelquefois dans les vallées par suite des avalanches ou des éboulements qui sont venus les barrer, offrent encore dans leur débâcle quelque chose de plus effrayant que les courants ordinaires, par suite de la masse énorme d'eau qui peut s'écouler alors en quelques moments. A peine a-t-il commencé à se faire un écoulement par quelques fissures, que l'ouverture initiale augmente avec une prodigieuse rapidité, et qu'à l'instant, en quelque sorte, toute la digue est emportée. Un volume énorme d'eau se précipite alors avec une violence extrême, et rien ne peut résister à l'action combinée de la masse et de la vitesse, qui va quelquefois jusqu'à 15 et 20 mètres par seconde. Tout est culbuté, et les roches les plus solides, pour peu qu'elles fassent éperon sur la direction du courant, sont à l'instant arrachées, brisées, transportées à de grandes distances, et même en blocs énormes. Le déblayement est si complet à l'origine du courant et dans les passages étroits dont la pente est rapide, que le roc mis à nu semble avoir été taillé par la main des hommes : c'est ce qui arriva lors de la débâcle du lac qui s'était formé dans la vallée de Bagne en 1818, et ce dont on voit encore des traces sur les flancs des vallées qui furent ainsi barrées dans la Calabre pendant les tremblements de terre de 1783.

On ne peut douter, en voyant de tels résultats, que si, par l'effet de quelques commotions souterraines, il se formait une fissure dans la digue d'un grand lac, comme le lac Érié, par exemple, il ne se creusât en peu de temps une brèche profonde, exactement comparable aux défilés qu'on observe si fréquemment dans les vallées (§ 19), et qu'on est si fortement tenté d'attribuer à des débâcles de lacs placés jadis les uns au-dessus des autres, comme le sont aujourd'hui ceux de l'Amérique du Nord.

§ 96. **Torrents boueux.** — Il se fait aussi, par une cause ou par l'autre, des torrents de matières boueuses, dont les ravages ne sont pas moins terribles. Quelquefois il arrive, comme en Irlande, que des tourbières (§ 124), placées sur de très-légères pentes, après s'être gonflées, bombées plus ou moins en retenant l'eau des pluies, ne peuvent plus résister à la première averse et se mettent en mouvement. Elles s'écoulent alors, malgré la consistance de la pâte et la faiblesse des pentes, avec une prodigieuse rapidité, et renversent tout ce qui se trouve sur leur passage. C'est ce qui est également arrivé après l'éboulement de la Dent du Midi, dans les Alpes,

en 1835. Une masse énorme de débris formant une boue noire qui renfermait à peine un dixième d'eau, portant même à sa surface des blocs énormes, s'écoula avec une extrême rapidité jusqu'au Rhône où elle se précipita en faisant refluer ses eaux avec une grande force sur l'autre rive. Dans d'autres circonstances les eaux de pluie détrempent des matières argileuses peu solides, s'amassent au milieu d'elles, et en un certain moment, les digues du réservoir venant à se rompre, il se fait un torrent de boue épaisse, rempli de fragments de roches et même de blocs suspendus dans la masse visqueuse, qui s'écoule avec une rapidité effrayante, culbutant tout et creusant des ravins profonds. Tel est le cas des *Nants sauvages*, dans la vallée de l'Arve, sur la pente nord des Alpes. Les éruptions boueuses de Java et du Pérou (§ 78), ont produit plus de désastres dans leur course sur la pente du terrain, que par l'accumulation même du limon dont elles ont couvert la contrée.

§ 97. **Pentes des torrents et des rivières.** — Les eaux courantes produisent des effets d'autant plus désastreux que les pentes sur lesquelles elles se meuvent sont plus rapides ; mais il ne faut pas croire qu'il soit nécessaire pour cela que leur lit ait une inclinaison considérable. Les torrents les plus impétueux, formant un lit continu, et entraînant des blocs de $\frac{1}{2}$ mètre de côté ou de diamètre, n'offrent que des pentes de 1 à 2 degrés : beaucoup de rivières coulent avec une grande vitesse sur un sol beaucoup moins incliné, et des pentes de 3 à 4 minutes donnent à peu près, pour la rapidité, la limite des rivières navigables ; nos fleuves les plus rapides, qui offrent, à la vérité, une certaine profondeur d'eau, comme le Rhin, le Rhône, etc., ne présentent même que des pentes de 1 à 2 minutes, et dans plusieurs parties de leur cours, ils coulent sur des pentes de 4 à 8 secondes seulement. Ces données sont très-importantes comme terme de comparaison ; car on voit alors quels effets prodigieux pourraient produire de plus fortes pentes et de plus grandes profondeurs. Il n'est pas nécessaire de pousser bien loin l'exagération ; car si nos torrents de 1 à 2 degrés de pente peuvent rouler des masses de $\frac{1}{2}$ mètre de diamètre, quelle serait leur force avec des pentes doubles ou triples ? Que serait-ce, sans changer de pente, si la profondeur d'eau devenait égale à celle de nos grands fleuves ? Il est clair que la boue la plus épaisse pourrait acquérir alors une vitesse énorme et capable des plus prodigieux effets. Si les rivières cessent d'être navigables par la rapidité au delà des pentes de 3 à 4 minutes, quelles seraient, malgré la faiblesse de l'inclinaison, la vitesse et la force avec de plus grandes profondeurs ? Que ne doit-il pas s'être passé quand nous voyons, par divers phé-

nomènes, que des eaux courantes ont pu remplir des vallées de plusieurs centaines de mètres de profondeur? On conçoit donc facilement les dégradations les plus épouvantables, le transport des blocs es plus volumineux, sans sortir à peine des limites des phénomènes actuels (§ 214 à 217, 307 à 309).

§ 98. **Action des vagues et des marées.** — Si les eaux qui humectent continuellement le pied des montagnes peuvent en délayer, en désagréger les couches inférieures, et provoquer l'éboulement des parties qu'elles mettent en surplomb, il est clair que des eaux continuellement agitées, lancées parfois avec une force extrême sur les continents, doivent aussi avoir une action prodigieuse sur les côtes. Les flots ont en effet une énorme puissance, là surtout où des rochers abrupts se trouvent immédiatement exposés aux vagues d'une mer ouverte. Le choc est quelquefois tel que la terre tremble sous les pieds; que les digues les plus solides ne peuvent résister; que des blocs énormes de pierre sont arrachés, portés au loin dans les terres, poussés à contre-pente sur le rivage, lancés quelquefois verticalement par-dessus les jetées, où ils roulent ensuite comme de légers cailloux : de puissants bancs de sable et de galets sont souvent déblayés, et des contrées entières se trouvent en un instant détruites ou couvertes de débris.

Les chroniques et les traditions des contrées maritimes nous offrent de nombreux exemples des changements successifs, des désastres instantanés qui ont eu lieu dans un grand nombre de localités. Il s'en est fait d'immenses, et chaque jour il s'en fait de nouveaux, sur les côtes plates, sableuses, qui bordent les mers dans les diverses parties du monde. Nous en avons des exemples fameux depuis les bouches de l'Escaut jusqu'au canal de Jutland, où l'on a vu se produire le Bies-Bosch, le Zuyderzée, le Dollart, etc., dans des marées extraordinaires, et où se sont opérés d'innombrables changements dans les îles, depuis le Texel jusqu'aux bouches de l'Elbe, dans les détours du Lymfiord, ou sur les côtes du Cattegat et de la Baltique. D'immenses coupures, des anses, des golfes profonds s'y sont formés à diverses reprises pendant les tempêtes, et s'y forment encore tous les jours par l'action ordinaire des vagues, qui tantôt apportent des masses de sable, et tantôt détruisent les digues qu'elles avaient jadis formées.

§ 99. Ce n'est pas seulement sur les terrains meubles que l'action des flots se manifeste; elle a lieu également sur les roches les plus solides, et de là des modifications journalières dans les *falaises* qu'on trouve sur les côtes de France et d'Angleterre et dans toutes les parties du monde. Plus la côte est abrupte, plus elle est exposée

aux dégradations des vagues, par la raison que, brisant immédiatement les flots, elle en éprouve le choc dans toute sa force. Sur les côtes plates, au contraire, le flot, courant sans obstacle, s'avance tant que sa force le lui permet, et jusqu'à ce qu'il ait successivement perdu toute sa vitesse; il apporte alors, en sables et cailloux roulés, beaucoup plus qu'il ne détruit, même sur les terrains les plus meubles. La disposition naturelle des couches solides est tantôt opposée, tantôt favorable à l'action des flots : elle est opposée, lorsque ces couches, étant unies et bien homogènes, se trouvent inclinées vers la mer (fig. 45), parce que le retour d'une vague le long du talus diminue l'action de la vague suivante, dont le reste de force est uniquement employé à remonter sur le plan : ce n'est alors qu'à l'aide des crevasses et des fissures qui se trouvent dans la roche que les eaux parviennent à l'entamer. Il n'en est plus de même lorsque le terrain présente ses tranches à l'action des eaux (fig. 46 et 47); les parties inférieures, attaquées continuellement par

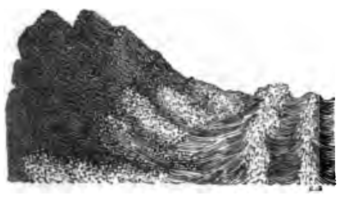


Fig. 45. *Action des vagues sur des plans inclinés.*

Fig. 46. Fig. 47.



Action des vagues sur les rochers abrupts.

les chocs réitérés des flots, que rien ne contribue à diminuer, se dégradent et se creusent successivement, et d'autant plus vite que la matière est plus délayable ou plus facile à désagréger : les couches supérieures, qui se trouvent alors bientôt mises en surplomb, ne tardent pas à s'ébranler et à se précipiter dans la mer. C'est ainsi que des parties considérables de côtes ont été bouleversées à diverses époques, que des promontoires ont disparu, que d'autres ont été coupés et séparés du continent. Ces effets deviennent très-rapides dans les lieux où une mer profonde engloutit à mesure les blocs

détachés, ou dans ceux où la force des vagues est assez puissante pour ballotter les débris, les user les uns par les autres et les déblayer successivement, de manière que le pied de l'escarpement reste toujours à nu : c'est ce qui arrive surtout quand le resserrement de deux côtes opposées détermine de forts courants, comme dans la Manche, entre la France et l'Angleterre, dans le canal Saint-Georges, etc., où les eaux de l'Atlantique, arrêtées dans leur cours, viennent battre avec fureur. Dans ces localités, la mer gagne constamment sur la montagne, et avec plus ou moins de rapidité, suivant le degré de résistance du terrain. Il existe en effet un grand nombre de narrations qui indiquent les dates des principaux éboulements, ou l'existence de phares, de tours, d'habitations, de villages même, qui ont été successivement abandonnés, et qui ont aujourd'hui complétement disparu.

Lorsque les masses de débris tombés des falaises ne sont pas immédiatement déblayées, il en résulte (fig. 48), un rempart naturel contre les vagues, qui viennent s'y briser avant d'atteindre le pied de l'escarpement; ce n'est alors qu'à la longue que ces débris peuvent être usés, arrondis, et enlevés petit à petit, ce qui dépend du degré de solidité de la roche dont ils sont formés. On imite autant que possible ces remparts naturels en amenant des blocs de pierres au-devant des talus que l'on veut préserver, soit sur les côtes de la mer, soit sur les bords des rivières.



Fig. 48. *Accumulation de débris s'opposant à l'action des vagues.*

§ 100. L'action des vagues se manifeste aussi sur les falaises et sur les plages par des érosions diverses. Ici, ce sont de longues cannelures horizontales, à fleur d'eau, qu'on remarque surtout sur les roches calcaires ; là, ce sont des cavités réelles qui s'enfoncent horizontalement dans la masse du terrain, dont les parois sont tantôt déchiquetées, tantôt unies, et marquées de cannelures circulaires qui attestent le roulis des matières dures dans leur intérieur; l'ouverture en est tantôt plus large, tantôt plus étroite que le fond. Ces cavités sont analogues aux marmites des géants (§ 94), mais creusées par la vague dans les parois verticales des roches. Sur les plages, on voit aussi des cannelures plus ou moins profondes, perpendiculaires aux rivages, qui sont produites au moyen des débris que le flux et le reflux font constamment mouvoir.

§ 101. **Exemples de ruptures.** — Quand on a observé l'effet journalier des vagues sur les continents, on est naturellement conduit à penser que les nombreux accidents qu'on remarque sur les côtes et dont on ne peut préciser les dates, ont eu la même origine. Si l'on doit attribuer à l'action des flots les excavations qu'on trouve au niveau des mers, sur les falaises calcaires, il paraît naturel de leur imputer aussi certaines arches qui traversent tout un promontoire. Cependant cette action ne s'exerce immédiatement que sur les matières délayables ou faciles à désagréger, comme la craie, les argiles, les matières arénacées, et elle est infiniment lente sur les matières dures; il y a des points où, depuis les époques historiques, elle n'a produit aucun effet. Dès lors il ne suffit pas, pour expliquer les faits, d'admettre uniquement la force érosive des eaux, ni même l'effort impétueux des vagues : il faut encore remarquer que les terrains sur lesquels cette action s'exerce ont été fissurés de toutes les manières, soit par des actions antérieures, soit dans le moment même, par des tremblements de terre (§ 32, 132), et que c'est ainsi qu'ils ont cédé à l'action combinée des forces auxquelles ils étaient exposés. C'est par ce moyen, ainsi que par l'action des glaces flottantes entraînées des pôles, qu'on parvient à se rendre compte des rochers isolés, des îles qui avoisinent nos continents, de ces grandes coupures au travers desquelles la mer trouve un passage, de ces groupes de rochers découpés qui forment des rescifs au milieu des mers, enfin de tous ces démembrements si communs et si variés qu'on observe sur les côtes de France et d'Angleterre, dans les nombreuses îles qui s'étendent vers les mers du Nord (fig. 49 et 50), et dans un nombre infini de localités.

Fig. 49.



Fig. 50.



Exemples de rochers rompus, façonnés par les eaux.

§ 102. **Cailloux roulés.** — Dans les ravages que produisent les eaux courantes, les débris qui se trouvent arrachés aux montagnes sont transportés plus ou moins loin, selon que les inclinaisons du sol permettent à la force du courant de se conserver sur des distances plus ou moins considérables ; mais à mesure que les pentes diminuent, la vitesse décroît successivement, et successivement aussi les plus gros blocs restent en arrière au fond de la vallée, puis ceux de moindre dimension, et ainsi de suite jusqu'aux sables et limons, qui sont souvent transportés à d'énormes distances. Dans ce roulis de différentes matières, les blocs et les fragments, se heurtant pendant leur transport, se frottant les uns sur les autres et contre la paroi solide du terrain, perdent successivement leurs arêtes et leurs angles, et finissent par être complétement arrondis, par former ce qu'on appelle des *cailloux roulés* ou *galets*, qui peuvent être plus ou moins volumineux. Toute la partie inférieure des torrents, là où le terrain s'aplanit suffisamment, où la vallée s'élargissant permet aux eaux de s'étendre en diminuant de profondeur, et par conséquent de vitesse, se trouve généralement couverte de ces cailloux, qui s'amassent quelquefois en quantité immense, et à travers lesquels, dans sa tenue ordinaire, le ruisseau serpente de différentes manières dans un lit qu'il s'est formé, et dont il change souvent aux diverses crues. Les rivières et les lacs dans lequels les torrents se jettent, et où ils perdent par conséquent leur vitesse, s'encombrent aussi journellement de ces cailloux, et c'est, par exemple, la cause de l'élévation continuelle du lit du Pô. Les *graviers* et les *sables*, qui ne sont que des cailloux fins, les limons qui résultent de l'usure générale et des parties terreuses déblayées, sont toujours transportés au loin, soit immédiatement dans les lacs ou les mers, soit dans les rivières, qui les déposent successivement sur leurs bords, et surtout vers leurs embouchures que l'on voit alors s'encombrer de plus en plus (§ 108).

§ 103. Il se fait aussi des cailloux roulés en quelque sorte sur place, par l'action des flots sur les roches éboulées. C'est ainsi que, sur les côtes de France et d'Angleterre, les silex des craies sont arrondis, usés les uns par les autres, et constituent des bancs de galets considérables. Quelque chose de semblable a dû s'opérer dans des points qui sont aujourd'hui à l'intérieur des terres, où l'on trouve des cailloux roulés, des blocs arrondis, à peu de distance des rochers dont ils ont été détachés : c'est ce qu'on remarque surtout fréquemment autour des buttes basaltiques de la partie sud des Cévennes, soit au milieu des masses de débris qui en forment les pentes, soit dans les alluvions qui composent les plaines voisines.

Dans les torrents boueux (§ 96), qu'à la vérité on n'a jamais vus parcourir de grands espaces, les blocs et les fragments paraissent s'arrondir beaucoup moins que dans les cours d'eau ordinaires. Une circonstance remarquable de ces torrents, c'est que les débris qu'ils renferment sont généralement déposés sur les bords des ravins qu'ils ont creusés, et au niveau même que la masse visqueuse atteignait, précisément comme s'ils avaient nagé à la surface : c'est la disposition que présentent les débris le long des Nants sauvages de la vallée de Sallenche.

§ 104. **Transport des roches par les glaces flottantes.** — Si des cailloux, des blocs plus ou moins considérables, peuvent être roulés par les eaux à des distances souvent très-grandes de leur place originaire, il est aussi d'autres moyens de transport que nous devons signaler ici, parce qu'ils nous fourniront quelques explications de certaines particularités des dépôts les plus modernes. Pour peu qu'on ait examiné ce qui se passe dans nos climats au moment de la débâcle des glaces d'une rivière, on aura vu les glaçons soulevés par la crue des eaux, emporter avec eux des masses de cailloux roulés ou même de terre arrachée au rivage. Or, les choses se font plus en grand dans les régions froides, comme la Russie, la Nouvelle-Zemble, les côtes du Groënland, du Canada, etc. Les glaces, étant plus épaisses, soulèvent des blocs plus ou moins volumineux, au moment de la débâcle, et les emportent plus ou moins loin comme sur des radeaux. Ces glaces viennent bientôt échouer çà et là sur les rivages, puis en se fondant y laissent les blocs, à peine émoussés sur leurs arêtes et leurs angles, et indiquant ensuite la hauteur de la crue par leur position. Quelquefois on trouve des blocs de granite du poids de plusieurs milliers embarrassés et suspendus dans les branches d'arbres qui bordent les rivières à des distances plus ou moins grandes.

Dans les mers circumpolaires, les glaciers qui descendent souvent des montagnes jusqu'à la mer, se trouvent remplis, tant à la surface de leur masse que dans leur intérieur, de blocs de roches plus ou moins volumineux, de fragments et de graviers, la plupart à arêtes vives, et en quantités considérables. Or, l'éboulement de ces parties inférieures dans la mer produit des glaces flottantes qui emportent avec elles tous ces débris.

Tous les voyageurs ont rencontré de ces îles de glaces flottantes en pleine mer et charriant ainsi les débris des montagnes dans toutes les directions. Ces sortes de radeaux viennent échouer çà et là sur les côtes, dans les anses, dans les bassins, à l'embouchure des fleuves où ils se précipitent et y laissent des débris qui peu-

vent y être parvenus de très-loin. D'autres glaçons au contraire se brisent ou se fondent au milieu des mers, et laissant aller les débris, déterminent çà et là des dépôts adventifs plus ou moins étendus, qui s'opèrent presque toujours dans la même direction, parce que c'est toujours aussi dans le même sens que, tous les ans, les courants de glaces flottantes se font sensiblement. Le nombre des blocs charriés ainsi sur les côtes diminue à mesure qu'on avance vers l'équateur.

§ 105. **Transport par les glaciers.** — Les glaciers (voir *Minéralogie*), qui occupent les hautes vallées des grandes chaînes de montagnes, sont aussi des moyens de transport extrêmement remarquables. Diverses circonstances permettent à ces dépôts de se mouvoir constamment et de descendre sur la pente des terrains qui les supportent; or, leur surface se trouve couverte de fragments et de blocs tombés des montagnes environnantes, et il arrive que le tout est charrié lentement de l'extrémité supérieure à l'extrémité inférieure, et que des blocs, souvent d'une énorme dimension, se trouvent portés, sans avoir subi de frottement, à des distances considérables du lieu de leur origine. Ces débris, par suite de divers phénomènes dans le détail desquels nous ne pouvons entrer, s'accumulent toujours sur les parties latérales du glacier contre le flanc de la vallée, et souvent aussi, par l'influence des vallées latérales qui amènent leur contingent, en longues bandes sur le milieu; il en résulte de petites collines allongées, qu'on désigne sous le nom de *moraines*. Tous ces débris, parvenus à l'extrémité inférieure du glacier, culbutent dans la vallée sur sa pente, et forment à son pied d'autres moraines, quelquefois assez élevées. Or, s'il arrive qu'après avoir augmenté pendant un certain temps, par suite d'une série d'étés froids, le glacier diminue par une succession d'été chauds et prolongés, les moraines de diverses sortes restent sur le terrain abandonné par les glaces, et forment, les unes des espèces de digues plus ou moins hautes au fond et en travers de la vallée, les autres de longues bandes sur ses flancs et à une hauteur plus ou moins considérable. Ce sont alors autant de dépôts adventifs où l'on trouve entassées pêle-mêle, en fragments et blocs de toutes dimensions, toutes les roches de la vallée. Souvent on reconnaît de ces délaissements en divers points, même à d'assez grandes distances, qui indiquent les états des glaciers à diverses époques.

Sur les terres polaires, les glaciers descendent jusqu'à la mer, à la surface de laquelle quelquefois ils surplombent, et leur extrémité est souvent coupée à pic par suite des blocs qui s'en détachent journellement; il en résulte qu'il n'y a pas de moraines terminales, du

moins qu'on puisse voir, et les moraines latérales sont généralement mal circonscrites. Mais on a remarqué que toute la surface inférieure est recouverte d'un grand nombre de blocs et de graviers, qu'on observe aussi dans la masse même. Ce sont les blocs de glace détachés de ces glaciers, aussi bien que les glaces formées sur la côte (§ 104), qui charrient les débris de roches dans toutes les directions.

Il n'est pas inutile de remarquer que les pentes des glaciers sont toujours plus fortes que celles des rivières, et ne descendent jamais au-dessous de 3 degrés. Ce doit être par conséquent aussi la pente minimum des amas de débris accumulés par eux sur les flancs de la vallée; de sorte qu'on a un moyen de distinguer les moraines latérales restées sur les pentes, d'avec les dépôts qui pourraient avoir été faits par des courants dont les inclinaisons sont toujours beaucoup plus faibles (§ 97).

§ 106. **Usure, polissage, stries et cannelures des roches.**— Maintenant que nous avons vu les mouvements des glaciers, l'action des eaux courantes pour enlever et entraîner des blocs plus ou moins volumineux, et les charrier sur les glaces flottantes, étudions quelques actions dont nous n'avons pas encore parlé, en y joignant celle du transport des sables par les vents.

Il n'est pas rare de rencontrer dans le midi de la France, en Provence et en Languedoc, des parties de roches calcaires polies et brillantes, qui doivent évidemment cette manière d'être à l'action des sables fins que les vents soulèvent sur les grandes routes et font mouvoir avec une grande vitesse. Les roches du désert sont égalemen polies, quelquefois comme corrodées, de la même manière. Les sables transportés par les eaux produisent plus souvent encore les mêmes effets, non-seulement sur les calcaires, mais encore sur les roches les plus dures, dans le lit des ruisseaux sur lequel on ne peut alors marcher qu'avec précaution. Les blocs de roches transportés par les eaux torrentielles produisent çà et là des sulcatures plus ou moins profondes (§ 92), aussi bien sur le fond du lit que sur les parois latérales qui suivent la direction du cours d'eau. Ces sillons sont très-visibles après un orage, mais ils s'effacent ensuite en grande partie, quoique cependant on en découvre encore des restes longtemps après. Rappelons aussi les sillons tortueux qui se font dans les montagnes (§ 93), ainsi que sur les bords de la mer par l'action du flux et reflux (§ 100), et enfin les cannelures qui ont lieu sur les rochers calcaires par l'action des eaux chargées d'acide carbonique (§ 89).

Il est fort à présumer que les glaces flottantes des mers polaires exercent une action très-puissante sur les flancs des rochers qu'elles rencontrent, et sur les sommets des montagnes sous-marines. I

semble que des masses qui s'élèvent jusqu'à 90 mètres au-dessus des mers, dont la partie plongée atteint un volume sept à huit fois plus considérable, poussées souvent avec violence, doivent pouvoir, non-seulement briser les montagnes, mais encore user, polir, strier, sillonner leurs roches dans diverses directions, suivant que les vents les poussent dans un sens ou dans l'autre; c'est ce que beaucoup de géologues ont pensé, et cependant il faut dire que le fait en lui-même n'a pas été immédiatement vérifié et que certains voyageurs exposent des idées tout à fait contraires.

§ 107. Une action plus positive est celle que les glaciers exercent à la surface des roches sur lesquelles ils peuvent glisser. C'est un fait rigoureusement établi que sur le fond d'un glacier, partout où l'on peut pénétrer, les roches sont usées, polies, arrondies sur leurs angles et converties en ce qu'on nomme les *roches moutonnées*. Les surfaces sont aussi recouvertes d'une multitude de stries rectilignes, très-fines, et de sillons qui suivent en général la direction de la vallée, divergent là où le glacier s'élargit, etc.; c'est ce qu'on voit très-clairement en se fourrant sous le glacier, là où la chose est possible, et déblayant tous les menus débris et la boue qui en forme le fond. Les parties latérales sont usées, polies et striées de même partout où la glace les touche, et même sur les parties surplombantes; la glace que l'on brise dans ces points renferme encore les cailloux et les grains de sable qui ont gravé ces empreintes. Ces stries latérales sont parallèles entre elles et à la surface du glacier; mais elles se relèvent souvent jusqu'à l'angle de 45°, ce qui tient à l'exhaussement de la masse de glace, qui détermine alors deux sortes de mouvements; l'un en aval qui tend à produire des stries horizontales, l'autre de bas en haut qui en produirait de verticales; la résultante est la moyenne quand les deux forces sont égales.

Les fragments de roches qui passent sous les glaciers sont triturés, broyés de toutes les manières, souvent arrondis, et en général couverts de stries; c'est par la présence de ces débris striés qu'on peut distinguer les débris accumulés par un glacier de ceux qui ont été formés par des cours d'eau dont les cailloux sont toujours unis à la surface.

§ 108. **Dépôts de détritus formés par les eaux.** — Nous n'avons considéré jusqu'ici les eaux que comme des agents destructeurs; mais par cela même que sans cesse elles dégradent nos continents, il faut bien qu'elles créent quelque part de nouveaux dépôts en proportion de ce qu'elles enlèvent.

Si les mers, quand elles sont profondes, battent en général nos continents en brèche, il arrive aussi que dans leurs ondulations,

elles tendent à ramener sur les côtes basses, sous forme de cailloux et de sable, les débris qu'elles ont arrachés ou reçus de toute part. Elles les accumulent alors sur le rivage sous forme de talus ou *levées* qui atteignent le niveau des hautes marées, et qui offrent dans leur profil la courbe la plus convenable aux mouvements des eaux. Elles constituent ainsi, d'abord des dépôts de galets, car elles laissent premièrement ce qu'il y a de plus gros; puis des dépôts de sables, qui souvent aussi forment seuls toute la masse. C'est du sommet des levées de sable que partent les dunes (§ 87), lorsque la matière, fine et meuble, peut ensuite donner prise aux vents.

Quelquefois les levées s'appliquent immédiatement sur les pentes des roches de la côte; mais il arrive le plus souvent qu'après avoir en partie comblé les baies et les golfes, la mer ne peut plus pousser ses flots jusqu'au fond des anfractuosités du rivage, et qu'elle forme en avant une digue naturelle sur laquelle les vagues viennent mourir. Dans ce cas, il reste derrière des terrains plus ou moins inondés, des marais et des lagunes, tantôt complétement fermés, tantôt offrant une ou plusieurs ouvertures qui donnent passage aux eaux fournies par les rivières du continent. C'est ce qu'on voit sur toutes les côtes basses, et ce que présentent d'ailleurs toutes les cartes. Ces dépôts relient entre elles les diverses saillies des rochers, et joignent souvent les îles au continent voisin.

Ces levées constituent des bourrelets plus ou moins continus; nommés *cordons littoraux*, qui régularisent, par des courbes simples, les anfractuosités naturelles des côtes, et au moyen desquels la mer s'est formée à elle-même une enceinte stable qui la sépare définitivement des terres, en opposant une barrière à ses flots. Dans les tempêtes, ces digues sont quelquefois rompues; mais dans les calmes, ces ouvertures se réparent bientôt d'elles-mêmes.

§ 109. Les torrents, après avoir arraché des débris de toute part; les avoir ballottés, entraînés à plus ou moins de distance, finissent toujours par les déposer à mesure que leur vitesse diminue, par conséquent à la partie inférieure de leur cours, à leur jonction avec les rivières ou les lacs. De là des amas immenses dont les parties grossières sont souvent liées entre elles par les limons qui se déposent en même temps. Les grandes rivières qui coulent dans des vallées peu inclinées, laissent généralement en arrière les parties les plus grossières et n'entraînent plus que celles qui sont en rapport avec la force qu'elles possèdent. Or, comme il arrive souvent que les pentes diminuent successivement; ces rivières laissent aussi successivement déposer les matières qu'elles charrient, et par là élèvent graduellement leur lit; elles finissent même, vers la fin de leur

cours, par se barrer à elles-mêmes le passage, et par se diviser en plusieurs petites branches, qui se forment des lits au milieu des sables et qui se déplacent successivement. Cette élévation du lit des rivières n'est nulle part plus apparente que dans le Pô, dont il a fallu toujours élever les digues pour empêcher ses divagations dans les plaines de la Lombardie ; aussi ce fleuve est-il maintenant plus haut que les maisons qu'on avait jadis construites sur ses bords.

Les rivières ont couvert de sables les pays plats qu'elles parcourent sur une épaisseur et une étendue quelquefois considérable. Dans les grandes crues, ces sables sont souvent remaniés, transportés d'un point à l'autre, et forment çà et là des amas plus ou moins puissants, qui constituent, tantôt des îles au milieu du fleuve, tantôt des alluvions sur l'un de ses bords. Mais c'est surtout à leur embouchure, dans les mers à cordons littoraux, que les atterrissements deviennent plus remarquables. D'une part, il se fait des *barres* qui forment le prolongement sous-marin du cordon littoral, et sur lesquelles il ne peut souvent passer que de petits vaisseaux. D'une autre, les marais et les lagunes restés derrière le cordon littoral se comblent successivement, et il se forme enfin ce qu'on nomme des *deltas*, à cause de la forme triangulaire qu'ils affectent, comme aux extrémités du Rhône, du Pô, du Nil, du Mississipi, du Gange, etc., ou même les atterrissements, après avoir tout rempli, ont dépassé la digue naturelle et se sont avancés dans la mer. C'est ainsi que des villes où se trouvaient jadis des ports très-fréquentés, sont maintenant au milieu des terres, parce que les bras de rivières, les canaux, les lagunes au bord desquelles elles se trouvaient ont été comblés ; beaucoup d'autres ne se sont conservées que par des travaux extraordinaires contre les atterrissements.

Dans les parties des mers où il n'y a pas de cordons littoraux qui aient préparé des réceptacles aux alluvions, les rivières débouchent par de larges ouvertures, comme la Gironde, la Loire, la Seine, la Tamise, l'Amazone, la Plata ; les débris charriés par les eaux sont jetés dans la mer et s'y arrangent alors au gré des vagues. Ces sortes d'embouchures libres ont été nommées *deltas négatifs* ou *estuaires*.

§ 110. Les rivières transportent aussi beaucoup de débris organiques, surtout de végétaux qu'elles reçoivent dans leur cours. Il se fait dès lors çà et là des amas de ces matériaux, surtout dans les grands fleuves qui parcourent des contrées où la main des hommes n'a pas encore détruit les immenses forêts qui couvrent le pays. On en cite de grands dépôts dans le lit du Mississipi, le plus long peut-être des fleuves de la terre, celui où les affluents sont les plus considérables ; ils y forment d'immenses radeaux de troncs d'arbres

entrelacés, arrêtés çà et là dans les ensablements, et qui finiront par être complétement ensevelis dans les alluvions. La masse de végétaux que ce fleuve transporte à la mer est telle, qu'on a été jusqu'à l'évaluer à plusieurs millions de mètres cubes par heure.

Les courants établis dans les mers transportent également des masses immenses de végétaux, de plantes marines et de débris organiques de tous les climats, qui se déposent dans les anses que ces fleuves marins rencontrent sur leur passage. C'est ce qu'on remarque à l'égard du courant atlantique, qui longe les côtes de l'Amérique, jusqu'aux régions glacées du nord, où les courants polaires accumulent les débris de ces contrées avec ceux des autres parties du monde.

Les lacs qui reçoivent les débris charriés par les rivières se remplissent petit à petit de tous ces matériaux ; c'est ce qu'on voit dans quelques-uns d'entre eux où il s'est fait ainsi des marais et des atterrissements considérables. Il doit en être de même du fond des mers, où, en définitive, viennent aboutir toutes les eaux avec leurs limons et leurs sables ; on conçoit qu'il doit s'y faire à la longue des dépôts épais qui s'augmentent de toutes les dépouilles des nombreux animaux qui pullulent dans ces vastes abîmes.

§ 111. **Dépôts des matières tenues en solution.** — Si les eaux dégradent et entraînent différentes matières, elles en dissolvent aussi quelques-unes (§ 89), et les déposent ensuite par évaporation sous la forme de sédiments solides, quelquefois même plus ou moins cristallins. C'est à l'infiltration de ces eaux, par exemple, que sont dues les stalactites de toute espèce qui se forment dans les diverses cavités souterraines, et dont la masse est surtout considérable dans les cavernes des pays calcaires. Mais il y a plus : certaines eaux sont assez riches en matières dissoutes, et assez abondantes pour donner lieu à la formation de dépôts fort étendus à la surface de la terre. Ce sont surtout celles qui, au moyen de l'acide carbonique, tiennent en solution une grande quantité de carbonate de chaux, et qui, fournies par des sources abondantes ou nombreuses, donnent lieu à des ruisseaux, et même à des lacs, au fond desquels se forment journellement ce qu'on nomme les *tufs calcaires*, dont il existe des dépôts très-considérables. Presque partout on trouve de ces eaux ; et, pour peu qu'en parcourant une contrée calcaire on ait la moindre volonté de rechercher ce qu'elle peut offrir à l'observation, il est impossible de n'en pas remarquer les effets. Ici, en s'éparpillant sur un terrain plat ou sur la pente d'une vallée, ces eaux incrustent les plantes qui y croissent naturellement, et, de ces incrustations agglomérées et superposées, il résulte des rochers plus ou moins con-

sidérables dont la masse se consolide par les nouvelles eaux qui circulent dans les vides, et en réunissent toutes les parties. Là, en roulant sur la pente d'un terrain dépourvu de végétation, ces eaux déposent des couches minces et successives qui en suivent les ondulations, et dont l'ensemble forme des masses compactes plus ou moins épaisses qui s'accroissent journellement. Ailleurs il n'est pas rare de voir les débris qui gisent au pied des montagnes ou des escarpements, cimentés plus ou moins solidement par la matière que ces eaux déposent entre leurs parties. Lorsque les eaux se rendent dans des marécages, elles en incrustent aussi toutes les plantes, et il arrive souvent alors qu'elles en recouvrent toute la surface d'une croûte sur laquelle se développent parfois de belles prairies; mais peu agrégées, mal supportées par les incrustations inférieures, ces croûtes superficielles offrent fréquemment un imminent danger à quiconque voudrait les traverser, par les fondrières qui se déclarent subitement sous les pas : les animaux surtout, attirés par la verdure, y sont fréquemment pris. Ce n'est qu'à la longue, par les eaux de même nature qui viennent successivement se perdre sous ces voûtes, que la base du dépôt prend plus de solidité, et qu'on peut ensuite le franchir avec une certaine sécurité, mais non sans trouver les traces des accidents qui y sont arrivés. Dans les lacs où se réunissent de telles eaux, il se forme des couches horizontales de matières calcaires plus ou moins solides, qui se remplissent souvent de coquilles fluviatiles, et même de coquilles terrestres que les ruisseaux y entraînent journellement des terres voisines.

Si un grand nombre de dépôts de tuf calcaire sont encore aujourd'hui en voie de formation, comme ceux de Vichy, de Saint-Allyre, près de Clermont, où ils ont formé un pont au-dessus du ruisseau de Tiretaine, d'un assez grand nombre de lieux en Bourgogne, en Quercy, dans les Cévennes, etc., il en est beaucoup où il paraît évident que les sources ont perdu considérablement de leur ancien volume, et plus encore où elles sont entièrement taries depuis un temps immémorial : mais dans ceux-ci même on reconnaît encore facilement l'origine des dépôts, par leur position en dehors des séries continues de formation dont nous parlerons dans la suite, et par la présence, la disposition et la nature, fluviatile ou terrestre, des débris organiques qu'on y rencontre.

§ 112. C'est aussi par des eaux plus ou moins chargées de carbonate de chaux que les sables rejetés par les vagues, soit dans les lacs d'eau douce, soit dans les mers, sont journellement consolidés. On cite à cet égard les sables du lac Supérieur dans l'Amérique septentrionale, ceux qui s'amoncellent dans le golfe de Messine, en

plusieurs points des côtes d'Angleterre, aux Antilles et principalement à la Guadeloupe, à la Nouvelle-Hollande, et dans la plupart des îles de la mer du Sud. Ces matières arénacées deviennent souvent assez solides pour être employées dans les constructions, et en divers lieux elles sont journellement extraites des bords de la mer pour cet usage.

§ 113. **Dépôts siliceux.** — Un assez grand nombre d'eaux minérales, et surtout celles qui sont chaudes, renferment, en même temps que le carbonate de chaux, une certaine quantité de silice : de là plusieurs tufs calcaires qui sont plus ou moins siliceux. Mais il y a aussi des sources où la silice est assez abondante pour former des dépôts considérables de tufs siliceux hydratés, tantôt à peu près purs, tantôt entremêlés avec diverses matières. Nous avons déjà cité les tufs des *geyser*, en Islande (§ 82), dont les dépôts, de 3 à 4 mètres de puissance, s'étendent quelquefois très-loin. On en connaît de plus ou moins analogues, fournis également par des eaux chaudes, et souvent mélangés de matières étrangères, dans les mont Rocheux aux États-Unis, dans l'Inde, et aussi à Saint-Michel des Açores, où ils se trouvent par petits lits alternatifs, et par veines, dans des matieres argileuses que les mêmes eaux amènent en abondance de l'intérieur de la terre. Dans tous il se trouve aussi des débris organiques, particulièrement végétaux, dont quelques-uns sont passés à l'état siliceux, tandis que les autres ont disparu et ont seulement laissé leurs empreintes.

§ 114. **Structure des dépôts de sédiment.** *Effets de chute.* — Si l'on examine les dépôts de détritus qui se forment au pied des montagnes par la destruction journalière des roches, on reconnaît que leurs pentes présentent des inclinaisons très-variables, dont les plus fortes ne vont jamais à 45°, et dont les plus faibles ne descendent guère au-dessous de 20° ; les variations entre ces limites se trouvent en rapport avec la grosseur, la forme des fragments et les circonstances de chute. De là il résulte que si, à des éboulements successifs, il se fait des variations dans la forme des fragments, dans les circonstances de chute, on aura une accumulation de dépôts dont les pentes seront successivement plus faibles, et qui offriront à peu près la disposition *a*, *b*, *c*, *d*, *e* (fig. 51), où chaque accroissement est plus épais dans le bas que dans la partie supé-

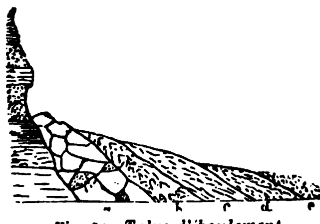


Fig. 51. *Talus d'éboulement.*

rieure. Il est évident que la même chose pourrait avoir lieu dans les eaux stagnantes, privées de tout mouvement; d'où il suit qu'à la chute d'une rivière dans un lac à parois rapides il pourrait se former des talus considérables très-inclinés, et que, par différentes crues qui amèneraient successivement des matériaux de grosseurs et de formes diverses, il se ferait aussi des dépôts analogues à ceux que nous venons de citer.

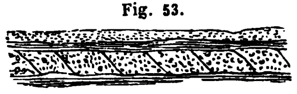
§ 115. *Effets d'entraînement.* — Si en quelques points, même sous les eaux, il peut se faire quelques dépôts à couches inclinées entre 20 et 45 degrés, il ne faut pas en conclure pour des dépôts établis sur des espaces où les eaux courantes s'étendant librement, peuvent pousser les débris arrachés de toutes parts. Ici les pentes des talus sont beaucoup moins rapides, jamais elles n'atteignent le minimum des pentes d'éboulement, et elles ne parviennent même à 10 ou 12 degrés que dans des cas exceptionnels qu'offrent des torrents d'une grande rapidité, à l'endroit où ils se précipitent dans une vallée transverse, et où il y a autant chute qu'entraînement. Le lit des rivières les plus rapides est infiniment moins incliné (§ 97), et les dépôts successifs se font dans la plupart à peu près horizontalement. Les graviers et les sables que les vagues poussent sur les côtes se déposent aussi sous des angles très-faibles, et des pentes de 10 degrés sont des exceptions, même dans les localités exposées aux plus fortes lames; le plus souvent elles sont beaucoup au-dessous, et presque horizontales.

Il arrive souvent pendant l'entraînement des matières par des courants d'eau, et dans les crues des rivières où il se fait un remaniement du fond, qu'il s'opère des effets analogues à ceux que produisent les vents de mer sur les dunes (§ 87). Des rides se forment en travers du courant; les matériaux divers, poussés par-dessus ces buttes initiales, s'accumulent derrière elles, en formant des talus d'éboulements successifs qui donnent au dépôt la structure (fig. 52). Si le fleuve vient à changer de régime, il arrive bientôt que la surface ondulée du premier dépôt se trouve nivelée, et il se fait par-dessus des dépôts tranquilles (fig. 53), dont le précédent se distingue

Fig. 52.



Fig. 53.



Structure produite par l'entraînement des matières.

par la *structure* particulière qu'il doit aux circonstances de sa formation. Ces effets résultant du mélange de dépôts tranquilles et de

dépôts rapides, se voient très-clairement dans les atterrissements qui bordent nos rivières, et surtout dans les deltas qui terminent leurs cours, lorsque les eaux y ont creusé quelque ravin. On reconnaît alors que la masse du dépôt est formée d'assises sensiblement horizontales, à surface plus ou moins ondulée (fig. 54), qui se distinguent les unes des autres par la grosseur des parties compo-

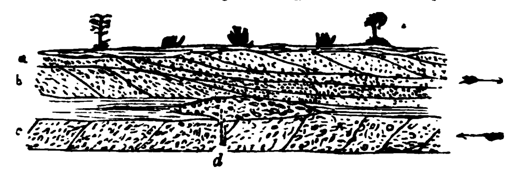


Fig. 54. *Structure observée dans les atterrissement des rivières.*

santes, par la couleur, par des structures que les accumulations rapides ont produites, soit en poussant les matières dans le sens du courant habituel, comme dans les dépôts *a* et *b*, soit en sens inverse comme dans le dépôt *c*, qui indique des contre-courants formés à un moment ou à l'autre. Souvent il se fait çà et là des amas particuliers, *d*, qui sont ordinairement formés de graviers plus grossiers, ou de débris organiques divers.

Rappelons que derrière les différents obstacles qui peuvent s'opposer à un courant, il se fait souvent des accumulations de débris, allongées entre les deux branches latérales formées dans la masse liquide, et qui se continuent jusqu'à leur réunion : c'est ce qu'on voit fréquemment derrière les piles des ponts.

§ 116. *Effets des mouvements oscillatoires.* — Les grandes masses d'eau, sujettes, comme les mers, à des mouvements ondulatoires, nous présentent encore un autre ordre de faits ; non-seulement les matières suspendues s'y déposent en couches horizontales, mais encore les plus faibles agitations ne permettent à aucune particule matérielle de se fixer d'une manière stable sur des plans sensiblement inclinés, et tendent au contraire à combler toutes les inégalités du fond. Il est impossible, à la vérité, de constater immédiatement ces effets au fond des mers ; mais le nombre immense de sondages exécutés par la marine dans toutes les mers nous montre clairement que tous les fonds mouvants ont des inclinaisons extrêmement faibles, que des pentes de ½ degré sont déjà rares, et qu'au-dessus elles sont tout à fait exceptionnelles : d'où il résulte que dans ces grands amas d'eau les couches formées par les dépôts successifs doivent être tout à fait horizontales. Nous voyons d'ailleurs ce fait de la manière la plus claire dans certains lacs en tout ou

en partie desséchés, où l'on rencontre des alternatives de couches de toute espèce nettement horizontales ; c'est ce que présentent le lac Bakie, en Écosse, le lac Supérieur et le lac Huron, en Amérique. On reconnaît le même fait dans les fonds de mer soulevés qu'on rencontre en tant de lieux différents, et que nous avons indiqués en Suède et au Chili (§ 32, 35).

Cette disposition des matières diverses suspendues dans les eaux, et rassemblées lit par lit sur le fond des marais, des rivières, des lacs, des mers, est ce qu'on nomme la *stratification ;* les dépôts eux-mêmes sont dits alors *stratifiés*. Cette circonstance distingue éminemment les dépôts formés par voie aqueuse de ceux qui ont été produits par la fusion ignée, qui sont le plus souvent *massifs* ou divisés irrégulièrement.

§ 117. **Nature des dépôts; débris organiques.** — Les couches d'alluvion sont formées de cailloux roulés, de graviers et de sables, et aussi de limons plus ou moins analogues aux matières qu'on nomme argiles. Elles sont plus ou moins consolidées, tant sous leur propre poids que par les eaux chargées de carbonate de chaux ou de matières diverses qui peuvent les pénétrer. Dans les lacs, on voit des marnes calcaires et argileuses, qui ont surtout la propriété de se durcir à l'air, comme on l'observe dans quelques lacs à demi desséchés d'Écosse, dans les pierres de formation moderne qu'on tire de quelques marais de Hongrie, et dans celles du lac Supérieur et du lac Huron, aux États-Unis. On ne peut douter qu'il ne s'en forme de semblables dans les mers, puisque leurs eaux sont souvent assez calcarifères pour consolider les sables rejetés sur les côtes ; et la nature des dépôts soulevés en tant de lieux différents ne peut laisser aucune incertitude à cet égard.

§ 118. Ces dépôts sont fréquemment remplis des débris de tous les êtres organisés qui vivent actuellement à la surface du globe. Dans les alluvions des rivières on trouve les débris des coquilles fluviatiles qui vivent encore dans les mêmes lieux (fig. 55 à 57), ou

Fig. 55.



Paludina vivipara.

Fig. 56.



Planorbis corneus

Fig. 57.



Lymnea stagnalis.

des coquilles terrestres, telles que nos divers limaçons, qui constituent le genre *hélice*, souvent en grand nombre, qui sont entraînées par les ruisseaux ; il y a des branches et des troncs de bois disséminés, des amas de végétaux plus ou moins altérés, quelquefois en partie bituminisés, des ossements d'animaux terrestres ou aquatiques, plus rarement des ossements humains, mais souvent des débris de l'industrie, comme des fragments de briques et de poteries, etc. Tout cela était facile à prévoir, et il suffit d'avoir été témoin des effets de quelque grande inondation pour comprendre tout ce qui peut être enseveli sous les eaux.

Les alluvions formées par la mer sur les côtes présentent des circonstances absolument analogues ; seulement, elles renferment des débris marins de toute espèce, tantôt seuls, tantôt mêlés aux débris fluviatiles et terrestres apportés par les rivières. Les débris de l'industrie humaine y sont fréquents, et l'homme même y a laissé ses propres dépouilles, non-seulement dans les cimetières des villages envahis par les plages de sable, comme sur la côte de Cornouailles, mais encore au milieu des débris rejetés par la mer, comme à la Guadeloupe, où ses ossements se trouvent dans un sable consolidé par les tufs calcaires, et mêlés à des débris de l'industrie naissante. Dans les deltas qui se forment en partie par les eaux douces, en partie par la mer, on observe des alternances de couches, les unes remplies de débris marins, les autres de débris d'eau douce ; mais, dans d'autres circonstances, tous ces restes se trouvent indistinctement mêlés.

§ 119. Les dépôts argileux, marneux ou calcaires, formés au fond des lacs (§ 111), renferment des débris plus ou moins nombreux de coquilles fluviatiles, semblables à celles qui existent aujourd'hui dans les mêmes lieux, des coquilles terrestres entraînées de dessus les berges ou amenées par les ruisseaux, des poissons et, dans quelques cas, des débris de mammifères ; des plantes diverses y ont laissé leurs empreintes, ou y sont pétrifiées en carbonate de chaux, ou même en silice. C'est là ce qu'on observe partout où se forment des dépôts de tuf calcaire, ce qu'on a remarqué dans les lacs Bakie et Kinnordy, en Écosse, dans le lac Supérieur et dans le lac Huron, aux États-Unis d'Amérique, où les dépôts paraissent être très-étendus.

Il n'est pas douteux qu'au fond des mers, les dépôts ne renferment également les débris des nombreux animaux qui y périssent journellement, et dont les dépouilles solides ne peuvent être transportées ailleurs. Les sondages nous en fournissent une preuve manifeste, et nous montrent des dépôts considérables en voie de forma-

tion et de consolidation, qui sont formés de débris de coquilles, de madrépores, d'échinides, d'une immense quantité de coquilles microscopiques nommées foraminifères, à cause de leurs nombreux petits trous, et même de débris d'infusoires (§ 146, 147), composant presque à eux seuls la vase qui encombre nos ports. La drague a fréquemment rapporté des parties de ces amas de débris fortement agrégés entre eux, et fort analogues aux calcaires coquilliers grossiers de nos continents. Il existe aussi çà et là au fond des mers de grands amas de végétaux en voie de décomposition, et particulièrement dans les mers du Nord, où les capitaines baleiniers en ont fréquemment rencontré autour de Feroë, de l'Islande, du Spitzberg, etc. C'est en effet ce qui devait arriver, puisque les courants maritimes ne cessent de transporter les débris végétaux arrachés au fond des mers, et ceux qui sont apportés par les fleuves (§ 110). On ne peut douter non plus que les couches sous-marines ne renferment de nombreux squelettes de poissons et de cétacés qui y terminent leur existence, et l'on cite en effet des sondages qui en ont arraché aux sables plus ou moins consolidés des bas-fonds. Du reste, comme les fleuves entraînent journellement des dépouilles de mammifères terrestres, leurs ossements doivent se déposer quelque part ; il n'y a pas même jusqu'aux poissons d'eau douce dont les dépôts marins peuvent renfermer les restes, puisque dans les grandes inondations les poissons des rivières ne peuvent résister à la force des courants et sont entraînés à la mer. On a des exemples de rivières entièrement dépeuplées de poissons après de semblables catastrophes.

§ 120. **Rescifs de corail ou rescifs madréporiques.** — On nomme ainsi des formations, souvent très-étendues, de polypiers pierreux agglomérés les uns avec les autres, qui, dans les mers intertropicales, constituent un grand nombre d'îles à fleur d'eau, ou des bancs sous-marins dont la masse s'élève de plus en plus.

Les petits animaux qui forment plus particulièrement ces dépôts ne peuvent vivre, suivant MM. Quoi et Gaimard, à plus de 10 à 12 mètres de profondeur ; peu de genres, suivant d'autres observateurs, vont jusqu'à 40 ou 50 mètres, si ce n'est ceux auxquels leur fragilité ne permet pas de constituer des masses solides et durables. Ces êtres s'établissent à ces profondeurs sur toutes les roches solides préexistantes, et là, par une exsudation de sucs calcaires, ils construisent leurs demeures, ou polypiers, qui s'accumulent les uns sur les autres jusqu'à la surface des mers, où s'éteignent leurs dernières générations. Il en résulte des bancs plus ou moins puissants qui s'étendent sur de très-grands espaces et se répètent en un nombre infini de lieux. Dans les mers comprises entre les tropiques, ils cou-

ronnent toutes les montagnes sous-marines, et couvrent des milliers de lieues carrées réparties en une multitude d'îles.

Ces polypes saxigènes, fixés sur toute espèce de roches solides, entourent de leurs produits la plupart des îles que nous connaissons dans les mers intertropicales, en formant au-devant d'elles, souvent à des distances de 1 ou 2 kilomètres, quelquefois jusqu'à 10, des remparts qui ont jusqu'à 500 mètres de long, plus ou moins élevés, au pied extérieur desquels se trouvent fréquemment des mers sans fond. Tantôt ils n'entourent qu'une seule île, tantôt ils en enveloppent plusieurs qui sont éparses au milieu de la lagune circonscrite. Quelquefois, ils forment un cercle complet, et souvent ils sont partagés en plusieurs parties qui laissent entre elles des passes plus ou moins longues. Dans tous les cas, il en résulte des brisants plus ou moins dangereux, et d'autant plus qu'on ne les aperçoit qu'au moment d'y être jeté, et que la profondeur des eaux n'offre aucun ancrage pour s'en garantir. Ce sont ces dépôts qui rendent la navigation si difficile dans certains parages de la mer du Sud, et qui ont causé à la marine tant de pertes déplorables.

Quelques-uns de ces rescifs, parvenus à fleur d'eau, présentent une forme complétement annulaire (fig. 58), et à leur centre se

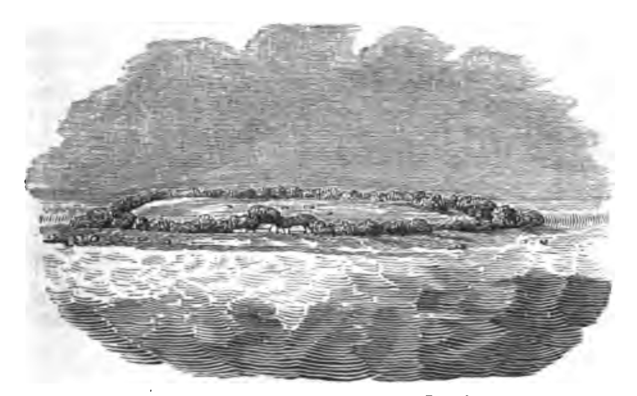


Fig. 58. *Ile madréporique de l'océan Pacifique.*

trouve un lac fermé de tous côtés. Ailleurs, ils offrent des anneaux échancrés qui laissent entre eux des passages par lesquels on peut entrer à l'intérieur, ou qui se présentent comme des groupes d'îles disposées en cercles, dont on trouve souvent plusieurs accolées ensemble ou disposées à la suite les unes des autres. Ces mers inté-

rieures sont souvent très-profondes; mais quelquefois aussi elles sont en partie remplies de débris de toute espèce, surtout par ceux du rescif même ou de tout ce qui vit à sa surface.

Lorsque ces rescifs sont parvenus à fleur d'eau, la mer les recouvre de toute espèce de matières sur lesquelles la végétation se développe successivement; le centre des îles annulaires, ou l'espace compris entre les rescifs et les îles qu'ils entourent, finit par se combler, et de là résultent la plupart des îles basses du Grand Océan, formées presque toutes par des madrépores, ou s'accroissant de celles qui ont primitivement appartenu à des pointes de montagnes sous-marines.

Les polypiers qui contribuent le plus à la formation des rescifs sont les *astrées* (fig. 59), qui couvrent parfois un espace immense; les *méandrines* (fig. 60); les *porites* (fig. 61); les *caryophyllées* (fig. 62); les *oculines* (fig. 63); divers *madrépores* (fig. 64), etc.

§ 121. Il serait possible que les lacs qui existent au centre des rescifs annulaires fussent les restes d'anciens cratères de soulèvement, sur les bords desquels les polypiers se seraient établis; et ce qui pourrait conduire à cette idée c'est la nature volcanique d'un grand nombre d'îles de l'Océan. Cependant il faut remarquer que l'accroissement des rescifs, qui est plus grand du côté où il est exposé au mouvement des vagues que du côté où il y est opposé, conduit lui-même à une disposition semblable. D'autre part, le grand nombre de ces îles dans diverses localités, la manière dont elles sont accolées les unes aux autres, l'immense étendue qu'il faudrait supposer aux cratères dans un grand nombre de cas, la profondeur des eaux, qui annonce dans les rescifs une hauteur beaucoup plus considérable que ne le permet la profondeur à laquelle les polypiers peuvent vivre, ont conduit à une autre manière de voir, et l'on a cherché l'explication des faits dans les affaissements des terrains sur lesquels les rescifs reposent. C'est aux observations futures à nous éclairer à cet égard.

§ 122. On a remarqué autour des rescifs madréporiques, ainsi que dans les lacs qu'ils enferment, des limons blancs et mous, de nature calcaire, tout à fait analogues à la craie, qu'on a attribués à la désagrégation des madrépores, aux déjections des vers qui percent les polypiers, ou à celles des holoturies et des poissons qui s'en nourrissent; mais, peut-être, en définitive, ces matières ne sont-elles en grande partie que des dépôts de foraminifères (§ 119, 146).

§ 123. **Rescifs soulevés.** — Une circonstance très-importante à remarquer, c'est que, dans beaucoup de lieux, on trouve maintenant à l'intérieur des terres, à 200 ou 300 mètres d'élévation, des dépôts

absolument semblables aux rescifs dont nous venons de parler et composés des mêmes espèces de madrépores : c'est ce qu'on voit à Timor, où les dépôts ont de 8 à 10 mètres d'épaisseur, à la Nouvelle-Hollande, à la terre de Diémen, aux îles Mariannes, aux Sandwich, etc. A l'île-de-France, un pareil banc, de 4 mètres d'épaisseur, se trouve placé entre deux courants de laves. La présence de

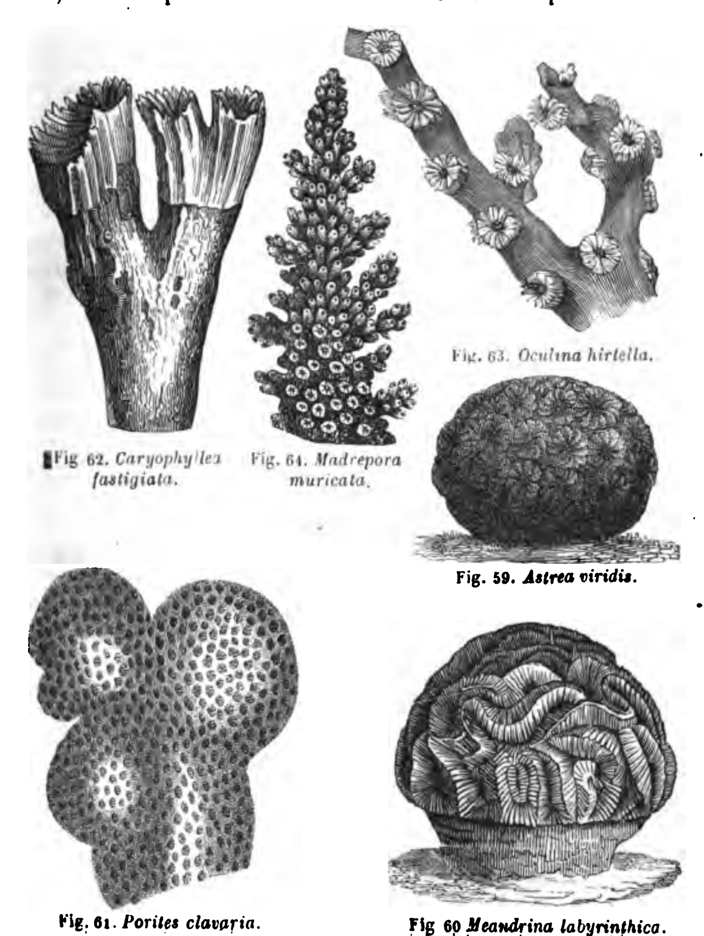


Fig. 62. *Caryophyllea fastigiata.*

Fig. 64. *Madrepora muricata.*

Fig. 63. *Oculina hirtella.*

Fig. 59. *Astrea viridis.*

Fig. 61. *Porites clavaria.*

Fig 60 *Meandrina labyrinthica.*

ces dépôts dans de telles positions, indique évidemment que toutes ces îles ont été soulevées du sein des eaux, et souvent à des reprises différentes, car on y trouve quelquefois aussi des bancs de madrépores à divers niveaux.

§ 124. **Tourbières.** — Il se forme journellement à la surface des continents, dans les divers enfoncements du terrain, dans les vallées à pentes douces, en un mot dans les lieux bas et marécageux, des dépôts de végétaux dont la décomposition fournit un combustible particulier nommé *tourbe*, et dont les amas portent le nom de *tourbières*. Ces dépôts ne se font cependant pas partout indifféremment, et n'ont lieu que dans des circonstances particulières. Il ne s'en fait ni dans les eaux courantes, ni dans les lacs profonds, ni dans les flaques d'eau passagères qui se dessèchent en certains temps : il ne s'en manifeste que dans les lieux où des eaux stagnantes, ou lentement renouvelées, peuvent se conserver constamment, et sous une profondeur peu considérable; cette dernière circonstance tenant, sans doute, à ce qu'il faut que les plantes puissent allonger leurs ramifications vers la surface pour recevoir l'influence de l'air et de la lumière.

La production de la tourbe est déterminée principalement par l'accumulation des végétaux cellulaires constamment submergés et qui se multiplient avec rapidité, comme les sphaignes, les conferves, etc.; ce sont eux qui forment la pâte principale du dépôt, la matière qui enveloppe toutes les autres plantes aquatiques, et qui concourt peut-être à leur décomposition. Il s'y joint aussi un grand nombre de végétaux terrestres qui sont amenés par les ruisseaux, soit dans leur tenue habituelle, soit dans leurs débordements. Fréquemment aussi on y trouve de grands arbres qui sont enfouis plus ou moins profondément dans la masse, et qui se font surtout remarquer dans sa partie inférieure, où ils sont amassés sur les sables et les argiles qui en forment le fond. Quelquefois ces arbres paraissent être debout; mais le plus souvent ils semblent avoir été brisés sur place et renversés auprès de leurs racines, qu'on trouve encore fixées au fond de la tourbière. Dans certains cas, ils sont extrêmement nombreux, quelquefois couchés tous dans la même direction, et semblent dès lors indiquer des forêts entières qui auraient été ensevelies dans le lieu même où elles croissaient avant la formation de la tourbe. Toutes ces plantes se rapportent à la végétation actuelle; ce sont des arbres résineux, des chênes, des bouleaux, quelquefois des frênes, des ormes, etc. Les premiers sont, en général, les mieux conservés; ils ont surtout gardé toute leur solidité, et sont seulement noircis; les autres, au contraire, sont en quelque

sorte réduits en terreau qui tombe en poussière par le desséchement. Il se trouve souvent aussi des débris de mammifères dans les tourbières, et ils appartiennent généralement encore à des animaux de l'époque actuelle ; ce sont des ossements de bœufs, des bois de cerfs et de chevreuils, des défenses de sangliers, etc.

§ 125. Les tourbières reposent sur toute espèce de terrain, quelquefois sur les roches mêmes de cristallisation ; mais, dans tous les cas, il est rare qu'elles ne commencent pas par des dépôts de sables ou d'argiles, quelquefois par des cailloux roulés de la contrée. Il y en a où les débris végétaux accumulés ne forment qu'une seule masse plus ou moins épaisse, plus compacte et plus noire à la partie inférieure que dans ses accroissements successifs ; mais il en est d'autres où le combustible présente différentes couches qui sont séparées les unes des autres par des dépôts de sédiment plus ou moins épais, formés sans doute par des alluvions successives qui les ont recouvertes. Ces dépôts sont formés de sables, d'argiles, de marnes calcaires ou argileuses, renfermant des coquilles d'eau douce souvent en grande quantité, ainsi que des coquilles terrestres amenées sans doute par les ruisseaux ; quelquefois on croit y reconnaître des couches de terre végétale intercalées. Souvent la surface du dépôt est encore recouverte par les eaux ; mais il arrive aussi qu'elle est couverte de terre, chargée même d'une épaisse végétation de plantes diverses qui aiment l'humidité, et dont les racines se plaisent dans l'eau.

§ 126. Nous avons établi en principe que la tourbe ne se formait que sous des eaux peu profondes, et cependant il y a des dépôts de ce combustible qui sont extrêmement épais, et qui semblent par conséquent avoir exigé des circonstances particulières. Ce fait, opposé aux observations les plus générales, conduit à penser que les lieux où l'on trouve de tels amas ont subi des affaissements successifs à mesure que les matières se déposaient : c'est ce que semblent indiquer les petites couches de terre végétale interposées dans la tourbe, les amas d'arbres couchés au fond des tourbières et se présentant comme des forêts renversées sur place, toutes circonstances qui supposent asséchement de terrain pendant un temps, puis, submersion dans un autre. Ces affaissements de terrain sont d'ailleurs prouvés par les sondages qui ont fait rencontrer des tourbières à diverses profondeurs dans les atterrissements.

§ 127. Les tourbières sont abondantes à la surface du globe et se trouvent distribuées par bassins plus ou moins étendus à toutes les hauteurs, occupant les diverses dépressions du sol. Il y en a jusqu'au sommet des montagnes, comme dans les Alpes ; sur des plateaux

élevés, comme au centre de la France, dans le Limousin et l'Auvergne, dans les *fagnes* des Ardennes, dans les Vosges, etc.; enfin il s'en trouve abondamment dans les plaines basses, où elles couvrent quelquefois un espace immense, comme dans la Silésie, la Prusse, le Hanovre, la Westphalie, la Hollande. Elles suivent souvent la direction des vallées, dont elles remplissent les anses, soit dans les hautes montagnes, soit dans les plaines hautes ou basses. C'est ainsi que nous les trouvons en France dans un grand nombre de petites localités, et que sont placés nos plus vastes dépôts dans la vallée de la Somme, entre Amiens et Abbeville, où ils donnent lieu à des exploitations considérables.

§ 128. Si la plupart des tourbières se sont formées au milieu des terres et uniquement par des végétaux fluviatiles, il en est aussi qui paraissent s'être déposées dans des marais qui communiquaient avec les mers, comme la plupart de celles de la Hollande. Il y a des dépôts qui sont composés de varechs et de plantes marines, ce que l'on voit sur les côtes plates et sablonneuses de l'Océan, et particulièrement sur celles de la Frise et du Jutland. Quelquefois aussi il se fait dans les montagnes des dépôts adventifs de mousse, de feuilles, de débris divers, qui, accumulés au fond des vallées humides, donnent également lieu à une sorte de mauvaise tourbe dont il est presque impossible de se servir.

RÉSUMÉ DES FAITS DE L'ÉPOQUE ACTUELLE.

§ 129. D'après l'exposé et la discussion des faits réunis dans les chapitres précédents, nous regardons comme établis en principes généraux de la science les divers résultats suivants :

A. *Faits relatifs au globe en général.*

1° La distribution de la chaleur à la surface du globe tient à la disposition et à l'étendue relative des terres et des mers, à la forme insulaire ou continentale et à la position des côtes.

Les parties orientales des continents sont plus froides que les parties occidentales, et l'intérieur est plus froid que les côtes; les îles ont une température plus uniforme, et la différence des étés aux hivers est peu considérable. Dans l'état actuel, la flore des côtes et des îles des mers australes présente des espèces dont les analogues ne vivent sur les continents du nord qu'entre les tropiques.

2° La masse du globe a été primitivement fluide; car autrement elle n'aurait pu se renfler à l'équateur, prendre la forme d'un sphéroïde de révolution, et augmenter de densité de la surface au centre.

3° Cette fluidité primitive est le résultat d'une fusion ignée, puisque la température va encore en augmentant de la surface à l'intérieur du globe, de telle manière qu'à 3 kilomètres il y aurait déjà 100 degrés, et qu'entre 20 et 40 tous les silicates seraient en pleine fusion.

4° La couche consolidée du globe, très-mince aujourd'hui relativement au rayon de la masse en fusion, a dû être encore infiniment moindre dans les premiers temps du refroidissement; par conséquent les dislocations, les mouvements divers du sol ont été plus faciles encore qu'aujourd'hui.

B. *Effets des tremblements de terre.*

5° Dans les tremblements de terre, il se fait des crevasses plus ou moins étendues, plus ou moins profondes; des montagnes s'engloutissent, d'autres apparaissent subitement : des lacs s'écoulent à travers leurs digues rompues, ou se perdent dans des conduits souterrains, résultats évidents des crevasses faites à l'intérieur de la terre.

6° Dans ces phénomènes instantanés il se fait des soulèvements de terrain considérables, ou bien des affaissements qui ne le sont pas moins; mais il s'en fait aussi en différents lieux avec lenteur et progressivement sur des espaces très-étendus. L'observation montre qu'il a dû s'en faire également à des époques antérieures.

C. *Résultat des phénomènes volcaniques.*

7° Les phénomènes volcaniques nous offrent aussi des soulèvements du sol, des crevassements profonds, des excavations plus ou moins vastes, à couches inclinées en dehors, qui forment ce qu'on nomme les *cratères de soulèvement*. Il s'élève du sein de la terre des montagnes coniques, tantôt pleines, tantôt offrant un canal vertical au centre, et un cratère au sommet, qui sont composées ou de matières cristallines, ou de matières poreuses et scoriacées; ces montagnes sont quelquefois isolées, quelquefois groupées, et le plus ordinairement alignées sur une même fente.

8° Les éruptions commencent souvent par des déjections de matières pulvérulentes, dont l'accumulation forme les tufs volcaniques

autour des volcans; les laves se font jour soit par le cratère culminant, soit par des crevasses latérales, quelquefois même très-loin du foyer principal.

9° La forme des courants de laves varie beaucoup, suivant l'inclinaison des pentes sur lesquelles ils coulent. Sur des terrains inclinés il ne s'arrête que de faibles courants, qui se réduisent à une bande étroite en forme de gouttière, offrant un bourrelet de chaque côté, très-mince à la partie supérieure, et se terminant par un culot retenu dans le sac solide et tourmenté qui se forme par le refroidissement. Les grands courants ne s'arrêtent que quand ils sont parvenus sur un sol horizontal : ils ne laissent alors après eux, sur les pentes rapides, que des traînées minces de fragments incohérents et scoriacés; sur les pentes faibles ils laissent des dépôts disloqués, formés de grandes pièces bousculées les unes sur les autres. Ce n'est que sur un sol horizontal que la lave s'accumule en galettes ou en nappes, plus ou moins épaisses, dont la surface est alors sensiblement unie.

10° Les caractères des laves, après le refroidissement, sont en rapport avec l'inclinaison des pentes sur lesquelles elles se sont arrêtées : la matière est scoriacée et fragmentaire sur des pentes rapides; elle est poreuse et disloquée en larges blocs sur les pentes douces. Ce n'est que dans la plaine ou dans les bas-fonds que, accumulée sur une grande épaisseur, elle devient compacte, cristalline, plus ou moins porphyroïde dans la partie inférieure et souvent divisée en colonnes prismatiques verticales. La partie supérieure du dépôt présente alors une masse poreuse plus ou moins épaisse.

11° Les fentes produites par l'action volcanique restent quelquefois ouvertes dans le haut, ou s'y remplissent de rapilli; mais, dans le bas, elles sont remplies de laves, qui forment alors des filons, ou *dikes*, communiquant quelquefois à des nappes plus ou moins étendues dont ils ont fourni la matière.

12° Les vapeurs qui, dans les éruptions volcaniques, se dégagent des laves, des cratères, des solfatares, exercent une action puissante sur toutes les matières environnantes, les désagrégent, les réduisent en poussière ou en bouillie, et, séparant leurs éléments, en forment fréquemment de nouveaux composés.

D. *Effets des agents extérieurs.*

13° L'air atmosphérique, les alternatives de sécheresse, d'humidité et de gelée, exercent une action sensible sur la plupart des matières minérales qui se trouvent à la surface du globe. C'est de leurs

dégradations par ces agents que résultent souvent les escarpements rapides que présentent les hautes montagnes, les éboulis qu'on trouve à leur pied sous des angles très-variables, et qui, en se superposant, produisent des espèces de couches inclinées, plus épaisses vers le bas que dans le haut. Cependant il est difficile d'attribuer uniquement à ces effets les grandes désagrégations que présentent certaines roches à leur surface, et en particulier les granites de quelques contrées, qui paraîtraient plutôt avoir été décomposés par des vapeurs émanées du sol.

14° A la faveur de l'acide carbonique qu'elles prennent à l'air, les eaux rongent successivement les dépôts calcaires, surtout dans les hautes montagnes; mais elles agissent plus puissamment encore en délayant certaines roches, entraînant les parties peu agrégées, et laissant ainsi sans appui les couches supérieures : elles donnent alors lieu à des dislocations et à des éboulements plus ou moins considérables.

15° Les mouvements dont les eaux peuvent être animées joignent à ce premier effet une force d'impulsion qui est quelquefois prodigieuse; de là les falaises produites par les vagues sur les côtes qui bordent nos mers, les dislocations, les déchirures et les découpures de toutes les îles exposées à la fureur des flots.

16° Les eaux courantes, se trouvant animées d'une grande vitesse, arrachent, culbutent, entraînent tout ce qui se trouve sur leur passage dans les vallées qu'elles parcourent, dont elles dégradent et sillonnent les flancs en même temps qu'elles les approfondissent successivement. Ces effets dépendent de l'inclinaison du sol et de la profondeur des eaux : ainsi, dans nos torrents les plus fougueux, capables de rouler des blocs de $\frac{1}{2}$ mètre de diamètre sous une faible profondeur, la pente ne va pas à plus de 2 degrés; dans nos fleuves les plus rapides le lit n'est pas même incliné de plus de 3 à 4 minutes.

17° Au moyen des sables et des cailloux qu'elles charrient, les eaux creusent à fleur d'eau des cavités plus ou moins profondes sur les falaises de nos rivages, des sillons sur les plages, dans les vallées et à la surface des rochers dans les montagnes; enfin elles forment des cavités profondes nommées *marmites des géants*, au pied des cascades ou à l'endroit des remous de nos rivières. Il est à présumer que les glaces flottantes sillonnent également les flancs des rochers qu'elles rencontrent et les sommets des montagnes sous-marines.

18° Les matériaux solides arrachés aux roches, étant ballottés, roulés par les eaux, s'arrondissent successivement par leurs frottements mutuels, et constituent ce qu'on nomme les galets, les cail-

loux roulés, les graviers, les sables et le limon. Transportés par les ruisseaux et les rivières jusqu'aux parties inférieures de leur cours, ces débris se déposent çà et là, et s'accumulent dans les lacs et dans les mers, en formant des amas immenses, souvent à de très-grandes distances des points d'où ils sont arrachés. Jetés sur les rivages par les vagues, ils forment sur les côtes des levées de galets et de sables, du sommet desquelles partent les dunes, et des cordons littoraux qui constituent les véritables barrières que la mer elle-même a opposées à ses flots.

19° Les glaces flottantes produites par les débâcles des rivières et celles qui chaque année se détachent des côtes et des glaciers des mers polaires, charrient constamment, comme des radeaux, des blocs de roches plus ou moins volumineux, des amas de terre et de débris qui se trouvent ainsi transportés, sans être roulés, souvent très-loin du lieu d'où ils se sont éboulés, et vont former des dépôts adventifs sur tous les rivages, ou même au milieu des mers.

20° Les glaciers reçoivent à leur surface tous les débris qui s'éboulent des montagnes, et en glissant sur le fond des vallées, transportent toutes ces matières des points les plus élevés des chaînes de montagnes jusqu'à leur partie inférieure; il en résulte sur les flancs de la vallée et à leur extrémité des dépôts de blocs et de fragments non arrondis qu'on nomme *moraines*, et que l'on distingue par leurs pentes des amas formés par les eaux.

21° Les glaciers en glissant sur les pentes des vallées en usent et polissent toutes les parties, tant sur le fond que sur le parties latérales, et même les parties en surplomb. Ils les chargent de stries fines rectilignes et de sillons, qui suivent en général la direction de leurs mouvements.

E. *Dépôts formés par les eaux.*

22° Les dépôts formés par entraînement aux embouchures des rivières présentent une série de couches ondulées horizontalement; mais ces couches offrent souvent divers accidents de structure plus ou moins oblique, qui résultent de l'entassement rapide des matériaux poussés par les eaux. Ceux qui se forment tranquillement dans les lacs et dans les mers sont toujours en couches nettement horizontales, à surface parallèle, même pour les matières arénacées; cette circonstance paraît tenir aux agitations ondulatoires, qui tendent toujours à égaliser la surface des matières qui se déposent dans les bas-fonds.

23° Les eaux qui tiennent des matières en solution les déposent

petit à petit sur toutes les pentes qu'elles parcourent, et uniformément sous toutes les inclinaisons; elles consolident souvent les matières arénacées dans lesquelles elles pénètrent, et forment, dans les lacs où elles aboutissent, des couches solides, horizontales, par une cristallisation plus ou moins confuse : c'est ce qui a lieu probablement aussi dans les mers.

24° Les dépôts formés sous les eaux renferment toujours une quantité plus ou moins considérable de débris organiques, les uns épars dans les matières arénacées, les autres constituant, presque à eux seuls, des couches ou des amas très-étendus. Ceux qui se sont formés dans les eaux douces, contiennent des débris fluviatiles et terrestres; ceux qui se sont formés dans les mers renferment des débris marins. Cependant il y a fréquemment mélange ou alternance, surtout aux embouchures des rivières; et il est clair qu'il doit même en être ainsi au milieu des mers, par suite de l'entraînement de toutes les matières qui sont journellement transportées par les rivières, puis poussées par les courants que présente l'Océan. C'est ainsi que les plantes des tropiques peuvent se trouver mêlées avec celles des pôles, les végétaux terrestres avec les algues et les fucus qui vivent dans nos mers.

F. *Rescifs madréporiques et tourbières.*

25° Les rescifs madréporiques, qui ne dépassent pas aujourd'hui les mers intertropicales, sont établis sur toutes les roches sous-marines dont la profondeur n'excède pas 10 à 12 mètres; de là ils s'élèvent jusqu'à la surface des eaux, et constituent des îles basses qui se couvrent souvent de mousse et de végétaux, ou des rescifs souvent très-dangereux pour la navigation. Des bancs analogues se présentent, à 200 ou 300 mètres d'élévation, au milieu de certaines îles qui par conséquent ont dû être soulevées du sein des mers à des époques assez modernes.

26° Les tourbières, formées dans les dépressions du sol où des eaux peu profondes peuvent séjourner constamment, se trouvent éparses çà et là à la surface des plateaux plus ou moins élevés, comme sur celles des plaines basses, et suivent souvent la direction des vallées dont elles remplissent les anses. Ces dépôts présentent quelquefois diverses couches de combustible séparées les unes des autres par des matières argileuses, sableuses ou calcaires, remplies parfois de débris de mollusques fluviatiles ou terrestres et de ceux des grands animaux qui vivent encore les uns et les autres dans la contrée.

APPLICATION DES FAITS ACTUELS

AUX PHÉNOMÈNES ANCIENS.

§ 130. Après avoir établi le fait d'une chaleur centrale, capable de tout tenir en fusion à peu de distance au-dessous de la surface que nous habitons; après avoir montré les effets actuels des tremblements de terre et des actions volcaniques, avoir déterminé ceux que produisent les eaux, tant en dégradation des continents qu'en formation de nouveaux dépôts, il est naturel de chercher à en déduire tous les phénomènes géologiques accomplis à la surface du globe depuis le moment de son existence. Il est à croire en effet que les causes qui agissent aujourd'hui sous nos yeux sont aussi celles qui ont agi de tout temps, mais qui sans doute ont déployé une énergie supérieure à de certaines époques que l'observation va nous faire connaître.

CONSÉQUENCES DE LA CHALEUR CENTRALE.

§ 131. **Premiers effets du refroidissement.** — Les idées de fusion complète, en un certain moment, et de refroidissement subséquent, auxquelles nous sommes forcément conduits (§ 3, 4, 7, etc.), nous font concevoir avec facilité ce qui a dû se passer dans les premiers temps de la consolidation du globe, et aux époques successives. La première pellicule solide qui s'est formée à la surface fondue, en un certain moment, peut-être à une température de 600° ou 800°, ou même plus, suivant la nature des matières, a dû se contracter ou se dilater au moment de la consolidation, suivant qu'elle a pris une structure compacte, ou une structure cristalline.

Dans le cas d'une structure compacte, la pellicule consolidée a dû, par suite du retrait éprouvé, se gercer, se briser dans tous les sens sous l'action de la matière encore fondue qu'elle recouvrait, nager en morceaux à sa surface, se ressouder de nouveau, pour se briser encore. Lorsque cette croûte est devenue plus épaisse, et dès lors a résisté plus efficacement, les matières, liquides ou pâteuses de l'intérieur, de plus en plus étreintes, ont dû, en la brisant, en soulever violemment les morceaux en crêtes saillantes le long des fentes pour conserver leur volume, et s'échappant quelquefois aussi par ces ouvertures, former elles-mêmes des bourrelets plus ou moins élevés à la surface de la planète.

Dans le cas d'une structure cristalline, la croûte sphérique qui se

formait, tendant à devenir plus grande que la masse enveloppée, a été forcée de se plisser en se soulevant çà et là, et se disloquant dans toute son épaisseur : c'est ainsi que beaucoup de matières fondues se couvrent de rides saillantes à la surface dans la pellicule qui se consolide avant l'intérieur.

On voit par conséquent, que, dans un cas comme dans l'autre, il a dû se former à la surface du globe, des rides plus ou moins élevées dès les premières traces de consolidation.

§ 132. Il est clair que les matières qui se sont successivement consolidées au-dessous de la première pellicule solide, étant soumises aussi aux lois de contraction ou d'expansion, ont dû de même ou se briser, ou se plisser, en soulevant alors et disloquant celles qui s'étaient d'abord formées. De là il suit que, tout en augmentant d'épaisseur, la croûte terrestre n'a pu acquérir le degré de solidité, par conséquent de résistance, qu'on aurait peut-être d'abord imaginé. Elle s'est trouvée nécessairement criblée de fentes, et dès lors n'a pu s'opposer, aussi efficacement qu'on pourrait le croire, aux actions intérieures, qui n'ont trouvé d'obstacles réels que dans les dépôts de sédiments formés plus tard, et dont elles ont pu soulever, contourner, disloquer les couches de toutes les manières. Nous observons, en effet, qu'il n'y a pas un dépôt à la surface du globe, soit de fusion, soit de sédiment, qui ne se trouve traversé par une multitude de fentes dans toutes les directions, et quelquefois même réduit en fragments.

§ 133. **Modifications et caractères des premiers sédiments.** —Les eaux ont dû, pendant longtemps, rester entièrement à l'état gazeux autour de la masse fondue de notre planète : cependant elles ont dû se précipiter d'assez bonne heure, et bien avant sans doute que la température de la croûte terrestre fût descendue à 100°, par suite même de la pression qu'exerçait l'énorme quantité de vapeurs de toute espèce qui devait constituer en un certain moment l'atmosphère. Or, ces eaux, portées à une haute température, et chargées peut-être de principes divers qui se dégagaient de la pellicule solidifiée, comme aujourd'hui des laves en voie de consolidation (§ 80), ont dû agir fortement sur les matières pierreuses déjà formées, les attaquer de toutes les manières, les désagréger facilement, comme on le voit encore dans les volcans de Java (§ 78), et préparer des matières boueuses susceptibles de se déposer au-dessus d'elles. Rien ne peut faire présumer que ces eaux fussent plus tranquilles que celles des mers actuelles, et par conséquent dépourvues d'actions mécaniques auxquelles les rugosités, les rides déjà formées, ont pu donner prise. Ces mouvements ont dû détacher des débris

aux matières consolidées, les ballotter de toutes les manières et en former des cailloux roulés, des sables et des matières argileuses. Il résulte de ces circonstances qu'il a dû se former des dépôts aqueux, en partie sédimentaires, en partie chimiques, dès les premiers temps de la consolidation du globe, et avant même que les corps organisés pussent vivre au sein des eaux, portées alors à une très-haute température. Nous trouvons en effet des dépôts sédimentaires formés de fragments, de cailloux roulés et de sables plus ou moins consolidés, dans les couches que nous regardons aujourd'hui comme les plus anciennes, et avant de reconnaître des débris organiques.

§ 134. Maintenant, ces sédiments des plus anciennes formations, n'ont pu manquer de subir bien des modifications par l'action de la masse brûlante sur laquelle ils se sont déposés. En effet, pendant longtemps, la croûte solide, formée par le premier refroidissement, a dû conserver une température très-élevée, et donner passage à d'abondantes effluves de chaleur provenant des matières fondues sous-jacentes. Or, à mesure que les dépôts sédimentaires se formaient, ils devaient s'échauffer successivement au contact de la masse solidifiée sur laquelle ils s'appuyaient, sans cependant apporter une différence sensible dans la loi d'accroissement de température, de l'extérieur à l'intérieur, qui devait être alors très-rapide. Il en résulte que la limite de fusion, établie d'abord à une certaine profondeur, devait remonter, par suite de la présence des dépôts sédimentaires, dans l'intérieur des masses préalablement consolidées, et finir même par atteindre ces dépôts ; par conséquent, les premières matières remaniées par les eaux, ont pu être cuites, calcinées, suivant les expressions vulgaires, refondues même et ramenées à l'état de toutes les matières de fusion.

De tels effets n'ont pas dû seulement se produire lorsque la température des eaux était encore très élevée, car, en vertu de la faible conductibilité des substances pierreuses pour la chaleur, la surface solide du globe a pu descendre jusqu'à des températures assez basses, comme dans les courants de laves (§ 67), sans que la limite de fusion fût à une grande distance à l'intérieur. On conçoit donc que la température des eaux, et celle même des terres découvertes, ait pu arriver à un point tel que des êtres organisés aient pu vivre à la surface du globe, et par conséquent que leurs dépouilles aient pu être entraînées dans les sédiments, qui n'en auront pas moins subi des modifications comme les précédents. On comprend dès lors que sous des pressions considérables, des amas de plantes entraînées sous les eaux, au milieu des dépôts terreux, aient pu passer à l'état d'anthracite, ou même de graphite (voyez *Minéralogie*), ou bien

encore que des dépôts de coquilles et de madrépores aient pu être fondus, comme dans l'expérience de sir James Hall[1], et, perdant alors toute trace des êtres organisés dont ils provenaient, être convertis en marbre saccharoïde, ou même en carbonate de chaux transparent.

Ces considérations tendent à nous faire voir que des dépôts arénacés ont pu prendre, en certains points, des caractères tout différents de ceux qu'ils présentent en d'autres, se durcir, se transformer en matières analogues à celles des roches produites par fusion; elles nous font comprendre que des calcaires terreux et coquilliers peuvent se présenter à l'état de marbre dans certaines parties de leur étendue; enfin elles peuvent nous rendre compte d'un grand nombre de faits qui se présentent au milieu des plus anciens dépôts de sédiments que nous pouvons reconnaître.

§ 135. **Effet du refroidissement intérieur actuel.** — Remarquons maintenant que tant que la croûte terrestre a été dans le cas de refroidir successivement, les choses ont dû se passer à peu près comme nous l'avons indiqué (§ 131), mais, parvenue à l'état stationnaire que nous reconnaissons aujourd'hui, il ne peut plus en être de même puisqu'il n'y a plus qu'un refroidissement à peine sensible jusqu'à une grande profondeur[2]. Cependant, avec quelque lenteur que ce soit, il est clair que la masse intérieure en fusion doit se refroidir successivement, et que, par conséquent, il y a pour elle diminution de volume; il arrive donc que les choses se passent comme dans le cas de cristallisation de la matière à la surface (§ 131), que la croûte déjà consolidée reste plus grande que la masse pâteuse sur laquelle elle repose, et dès lors qu'elle tend de même à se plisser, à produire des rides nouvelles sur le globe Ceci peut se faire pendant quelque temps d'une manière lente; mais, à de certains moments, l'effet ne peut manquer d'avoir lieu brusquement, et de là des catastrophes subites à la surface terrestre.

L'ensemble des observations, d'accord avec les considérations géométriques, nous montre que ces rides et ces dislocations se font suivant la direction d'un grand cercle de la sphère, et s'étendent sur la moitié de sa circonférence.

---

[1] Sir James Hall, chimiste écossais, mit de la craie en poudre dans un canon de fusil, la recouvrit de matières capables d'empêcher le dégagement de l'acide carbonique, et chauffa au rouge blanc l'extrémité inférieure de son appareil. Il vit alors que la craie s'était fondue et convertie en marbre saccharoïde. Plusieurs chimistes ont répété la même expérience.

[2] Fourrier a fait voir qu'il faudra 30 mille ans pour que l'accroissement de chaleur intérieure ne soit plus que de $\frac{1}{4}$ degré par 30 mètres.

§ 136. **Origine des sources chaudes.** — Les sources thermales à différents degrés, qu'on rencontre en tant de lieux sur la surface de la terre, aussi bien que les jets de vapeur, ou *fumarolles* (§ 82), s'expliquent avec la plus grande facilité par cette température propre et croissante du globe terrestre que nous avons reconnue, et par les fissures qui pénètrent jusqu'à une profondeur plus ou moins considérable. Les eaux arrivent alors à la surface avec la température qui correspond au point d'où elles proviennent, et l'on sait qu'il ne faut que 3 kilomètres de profondeur pour qu'elles soient bouillantes (§ 7). On conçoit aussi avec facilité comment, pendant les tremblements de terre, il peut apparaître de nouvelles sources chaudes dans une contrée, et comment celles qui existaient peuvent se perdre (§ 32); il suffit, pour le premier cas, que quelques fissures établissent communication depuis la surface jusqu'à la profondeur convenable, et, pour le second, que la communication existante se trouve interceptée.

§ 137. **Ancienne élévation de la température de l'Europe.** — Si la fluidité complète du globe a donné lieu à la forme ellipsoïde que nous connaissons, la chaleur qui s'est longtemps conservée, et qui se conserve encore au-dessous de la pellicule refroidie, a dû produire, et produit même aujourd'hui, un grand nombre d'autres phénomènes. La surface terrestre est parvenue sans doute depuis longtemps à un état de chaleur à peu près stationnaire, qui n'a pas varié depuis les temps historiques, et qui ne peut plus diminuer dans le cours d'un immense espace de temps que de $\frac{1}{30}$ de degré, seule influence que la chaleur centrale puisse ajouter aujourd'hui à l'action solaire, suivant les calculs de Fourrier. Mais avant d'arriver à cet état, qui a probablement exigé des milliers d'années, la surface terrestre a dû passer par tous les degrés de température pour arriver de l'état de fusion, où la matière se trouve encore au centre, au degré de refroidissement actuel; par conséquent, il fut un temps où elle avait une température propre capable d'effacer complétement la différence des climats, ou une atmosphère vaporeuse (§ 140), qui, en annulant le rayonnement, diminuait la rigueur des hivers. Dès lors la végétation, la vie en général, pouvait être indifféremment entretenue à toutes les latitudes comme dans une serre chaude, ou comme sous un climat maritime (§ 27). Il suit de là que les plantes et les animaux qu'on ne trouve aujourd'hui qu'entre les tropiques, pouvaient alors vivre partout, et même vers les pôles, qui ne pouvaient être encombrés par les glaces. Il ne serait donc point étonnant que nous trouvassions les restes de ces différents êtres ensevelis à peu près sur place, dans les contrées qui

sont aujourd'hui les plus froides du monde, et où il serait impossible qu'ils vécussent à l'époque actuelle. En voici des exemples :

§ 138. Il existe en Angleterre, à l'île Portland, et sur plusieurs points du continent, intercalée dans d'autres dépôts, une couche de matière noire qu'on nomme *couche de boue*, et de petits lits argileux dans lesquels, au milieu d'un grand nombre de débris végétaux couchés et dispersés, on voit diverses plantes en place (fig. 65),

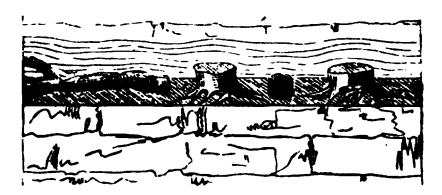


Fig. 65. *Couche de boue de l'île Portland.*

avec leurs racines qui s'étendent jusque dans les fissures du sol calcaire inférieur. On peut en conclure qu'il y avait là autrefois un sol végétal sur lequel ont crû toutes ces plantes aujourd'hui enfouies sous d'immenses dépôts. Or, au milieu des conifères analogues aux *araucaria* déjà étrangers à nos climats, il se trouve des plantes qui ont des rapports avec les *cycas* et les *zamias*, qu'on ne connaît que sous les tropiques, ainsi que des débris animaux qui se rapprochent de ceux de la même zone ; donc la température moyenne, au moment de cette formation, était plus élevée en Angleterre qu'elle ne l'est aujourd'hui ; ou seulement la différence de l'hiver à l'été beaucoup moins grande, comme dans les îles de la mer du Sud.

La plupart des dépôts de houille de l'Europe conduisent à la même conséquence. D'un côté, les arbres entiers qu'on y trouve, dont plusieurs sont encore debout avec leurs racines, comme on l'observe dans la mine du Treuil près de Saint-Étienne (fig. 66), dans les mines d'Anzin (Nord), en Angleterre, en Écosse, etc., semblent indiquer, comme dans les tourbières (§ 124), des végétaux, qui se trouvent à peu près dans les lieux mêmes où ils ont vécu. De l'autre, il est évident, vu la belle conservation des parties végétales les plus délicates, et la manière dont les feuilles sont étendues sur les schistes, que tous ces débris ne peuvent avoir été charriés de loin. Or, toutes les plantes dont nous retrouvons les restes dans ces dépôts appartiennent à des équisétacées, à des fougères de haute taille, à des lycopodiacées, etc., qui ne peuvent être comparées qu'à celles que nous voyons aujourd'hui entre les tropiques ou dans

les îles du Sud ; par conséquent le climat de l'Europe devait être alors bien différent de ce qu'il est actuellement.

Mais si à nos latitudes nous reconnaissons dans certaines couches terrestres les débris d une végétation intertropicale ou insulaire, nous trouvons également au-dessus d'elles des dépôts considérables où l'on voit nettement les restes des plantes dicotylédones de notre végétation actuelle. Donc la formation de ces derniers dépôts a dû s'effectuer longtemps après celle des premiers, et il s'est probablement écoulé, entre ces époques, tout le temps qui a été nécessaire pour achever le refroidissement complet de la surface de notre planète, ou le changement des îles en continents.

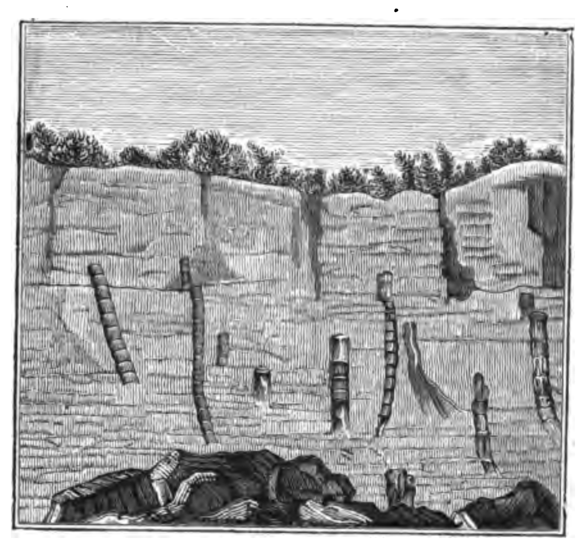


Fig. 66. *Tiges vertioales de la mine du Treuil.*

§ 139. Les madrépores des rescifs, qu'on ne trouve plus aujourd'hui en deçà des tropiques (§ 120), se sont jadis évidemment étendus jusqu'au delà du cercle polaire. En effet, les calcaires des divers étages nous les présentent en grand nombre, et annoncent fréquemment des rescifs comparables à ceux qui se font de nos jours. L'ensemble des faits nous montre que les limites de ces bancs de zoophytes ont successivement rétrogradé, depuis la formation des calcaires les plus anciens (§ 232), jusqu'à la craie (§ 277), qui en

présente encore les indices, comme à l'île Faxo en Danemark, et après laquelle ils se sont brusquement retirés entre les parallèles actuels; cela nous montre encore que le climat européen est devenu successivement de plus en plus froid.

§ 140. **Cause présumée de cette élévation de température.** — On conçoit facilement qu'avant le moment où la terre est arrivée au degré de refroidissement qu'elle présente aujourd'hui, les sources thermales devaient être infiniment plus nombreuses. Lorsqu'au lieu de $\frac{1}{30}$ de degré par mètre (§ 7), la température croissait, par exemple, de $\frac{1}{3}$ de degré, c'est-à-dire 10 fois plus rapidement qu'à l'époque actuelle, et que dès lors, à 300 mètres de profondeur, se trouvait le point d'ébullition de l'eau, il est clair qu'un très-grand nombre de sources étaient à 100 degrés, et que les fumarolles (§ 136), maintenant assez rares, pouvaient être alors fort communes. De là il devait résulter des circonstances atmosphériques fort différentes de celles où nous nous trouvons; d'épais brouillards devaient se répandre à la surface des terres en l'absence du soleil, et dès lors le rayonnement vers les espaces célestes, cause si importante de refroidissement aujourd'hui, devenait tout à fait nul. Les hivers étaient par conséquent peu rigoureux, et cela nous explique encore comment tant de plantes et d'animaux, qui ne peuvent aujourd'hui supporter nos climats hyperborés, pouvaient y vivre alors comme entre les tropiques, et précisément comme les plantes du midi vivent sur les côtes et dans les îles du Nord constamment entourées de brumes épaisses (§ 27). Toute la terre tempérée par ces vapeurs abondantes pouvait partout supporter les mêmes êtres organisés; et voilà pourquoi les couches minérales anciennes présentent beaucoup moins de différence dans les débris organiques qu'elles renferment, en quelque lieu qu'elles se trouvent, qu'il n'en existe aujourd'hui parmi les êtres des différentes zones.

§ 141. **Autres causes de l'ancienne végétation.** — Nous devons ajouter encore ici qu'après le refroidissement complet de notre planète, au point où nous en sommes maintenant arrivés, il fut probablement un temps où les continents du nord ne formaient pas de grandes masses comme aujourd'hui, et où sans doute, comme nous le montrerons plus loin (§ 352 à 372), il y avait à leur place divers groupes d'îles éparses au milieu d'un vaste océan, ainsi qu'il s'en trouve dans les mers du Sud. Dès lors, les lignes thermales (§ 25) devaient être dirigées tout autrement qu'elles ne le sont de nos jours; par conséquent les climats maritimes pouvaient être bien plus dévoloppés dans cette partie du monde qu'ils ne le sont maintenant. Il a dû en résulter que les plantes et les animaux se

rapprochaient de ceux que nous ne voyons plus aujourd'hui, sur les continents, qu'entre les tropiques.

DÉPÔTS ANCIENS ATTRIBUABLES A DES SÉDIMENTS.

§ 142. **Comparaison générale.** — Nous avons vu les cailloux roulés, les sables, les limons se former par l'action des eaux courantes et des vagues; nous avons reconnu que, transportés, poussés par ces eaux, ils s'accumulaient dans les lacs, dans les mers, à l'embouchure des fleuves et sur les côtes. Toutes les fois donc qu'à l'intérieur des continents nous retrouvons des minéraux sous ces formes et accumulés en dépôts plus ou moins considérables, nous sommes en droit de conclure qu'il a existé quelque part, près ou loin, des cours d'eau qui les ont charriés, des eaux animées de mouvements ondulatoires qui les ont accumulés sur leurs rivages, et souvent des lacs et des mers qui les ont reçus. D'après le plus ou moins d'abondance et la grosseur des cailloux, nous pouvons juger de la masse et de la force des eaux qui les ont transportés; et leur nature, leurs traînées diverses doivent nous conduire jusqu'au point de départ, si aucune circonstance n'a détruit les traces que les courants ont laissées sur leur passage.

D'un autre côté, puisque c'est dans les lacs et dans les mers que nous voyons aujourd'hui se former des dépôts coquilliers, nous pouvons conclure que les nombreuses couches de même genre que nous trouvons à toutes les hauteurs sur nos continents, et jusqu'au sommet des plus hautes montagnes, se sont également formées sous les eaux. La nature des débris organiques nous fera distinguer si elles ont été déposées sous les eaux douces ou sous les eaux marines, sur les côtes ou au milieu des mers; leur mélange, leur alternance, nous indiqueront des embouchures de rivières, des alternatives d'eau douce et d'eau salée, etc.

§ 143. **Dépôts d'eau douce** - Les dépôts formés par les eaux douces se reconnaissent facilement à ce que les débris organiques qu'ils renferment sont comparables à ceux des différents animaux des rivières et des lacs actuels (§ 118). Ce sont surtout des débris, des empreintes ou des moules de coquilles des genres *limnée* et *planorbe*, comme fig. 67 et 68. Ces coquilles sont minces comme celles de nos jours; la première à spire saillante dont le dernier tour est plus ou moins ventru, à ouverture plus longue que large, dont le bord droit, qui est tranchant, remonte sur la columelle en formant un pli très-oblique; la seconde a ses tours de spire roulés

sur le même plan. Les mêmes dépôts présentent souvent aussi des coquilles comparables aux *paludines* (fig. 69) ; aux *mélanies* (fig. 70),

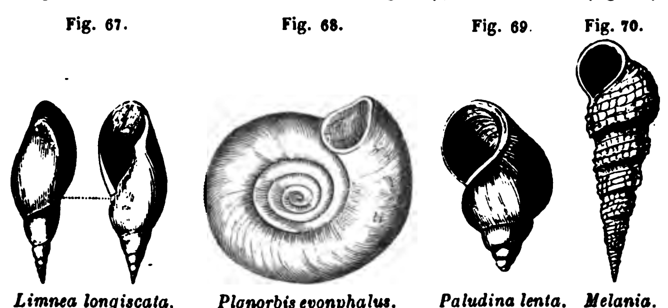


Fig. 67. *Limnea longiscata.* Fig. 68. *Planorbis evonphalus.* Fig. 69. *Paludina lenta.* Fig. 70. *Melania.*

et souvent à des coquilles terrestres du genre *hélice*. Les paludines sont des coquilles turbiniformes, à spire assez courte, dont les tours sont convexes, et par cela même séparés nettement les uns des autres ; l'ouverture est anguleuse au sommet. Les mélanies sont à spire allongée ou, suivant le terme reçu, turriculée, tantôt à côtes, tantôt à tubercules plus ou moins saillants ; l'ouverture est évasée à la base. Dans ces deux genres une opercule sert à fermer l'ouverture.

Les coquilles bivalves, plus rares que les précédentes, sont comparables aux *mulettes* (unio), aux *anodontes*, aux *cyclades* et aux *cyrènes*. Les premières (fig. 71) sont ordinairement épaisses, et pré-

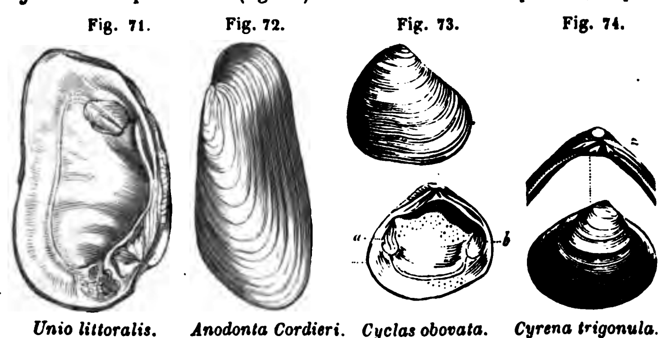


Fig. 71. *Unio littoralis.* Fig. 72. *Anodonta Cordieri.* Fig. 73. *Cyclas obovata.* Fig. 74. *Cyrena trigonula.*

sentent une dent allongée sur chaque valve, plus une dent courte et forte sur la valve droite, et une double dent, comprimée et striée, sur la valve gauche. Les secondes (fig. 72) sont des coquilles min-

ces et sans dents dont on connaît plusieurs espèces; enfin les cyclades et les cyrènes, généralement plus arrondies, quelquefois assez épaisses (fig. 73 et 74), présentent sur chaque valve deux dents latérales allongées, comprenant entre elles une ou plusieurs petites dents.

L'absence complète de toute espèce de polypiers, d'encrinites (fig. 75 à 76). d'échinides (fig. 77 à 79), quoique offrant un caractère négatif, doit encore être notée comme très-importante pour la distinction des dépôts d'eau douce.

Les dépôts qui renferment des coquilles analogues à celles dont nous venons d'indiquer les caractères sont fort communs à la surface du globe. Il s'en forme journellement au fond de nos amas d'eau actuels (§ 111, 118), et nous en trouvons dans un grand nombre de lieux qui sont évidemment des fonds d'anciens lacs. Les tufs calcaires, ou *travertins*, de Tivoli, dans la campagne de Rome, sont dans ce cas; les calcaires de la Limagne d'Auvergne nous en offrent un autre exemple évident. Il en existe de nombreux lambeaux, dont on parvient quelquefois à rattacher quelques-uns aux autres, dans toutes les parties de la France, en Angleterre, en Allemagne, etc. Ces dépôts sont fort communs aux environs de Paris, où ils constituent la plupart des plateaux, soit à l'état siliceux (les meulières coquillières), soit à l'état calcaire (tout le plateau de l'Orléanais); on les trouve même à divers étages, où ils annoncent soit des retours successifs d'eaux douces et d'eaux marines, soit des embouchures de rivières dans les anciennes mers qui ont produit la masse de nos calcaires grossiers. Les bords du Rhin, la Suisse, le bas de la vallée du Rhône, le grand golfe qui s'étend de Marseille à Montpellier, enfin toutes les parties du monde nous en offrent de nombreux exemples.

§ 144. **Dépôts marins.** — Ceux-ci se distinguent généralement par l'analogie que présentent leurs débris organiques avec les dépouilles des animaux qui vivent dans les mers. Les plus éminemment caractéristiques sont les *polypiers* plus ou moins analogues à ceux des rescifs (§ 123, fig. 59 à 64); différentes espèces d'*encrinites*, genre particulier de rayonnés, ou les débris de leurs diverses articulations (fig. 75 à 78); enfin un grand nombre d'*échinides* (fig. 79 à 81), etc. Aucun de ces corps organiques ne s'est jamais trouvé dans les eaux douces, et ce caractère, quoique négatif, est aussi extrêmement important.

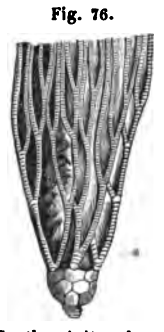
Parmi les coquilles univalves, il s'en trouve quelques-unes de plus ou moins analogues à celles que nous avons indiquées ci-dessus dans les eaux douces, quoiqu'elles soient généralement plus épaisses et plus fréquemment couvertes de tubercules, comme, par

Fig. 75.



Apiocrinites rotundus.

Fig. 76.

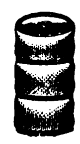


Cyathocrinites planus.

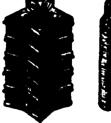
Fig. 77.



Encrinites moniliformis.







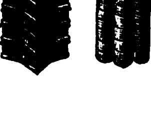




Fig. 78. *Diverses articulations d'Encrinites.*

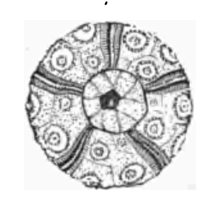


Fig. 79. *Cidaris coronata.*



Fig. 80. *Ananchytes ovatus* (*de la craie parisienne*).

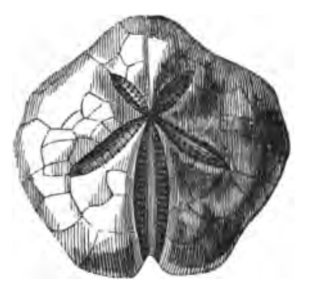
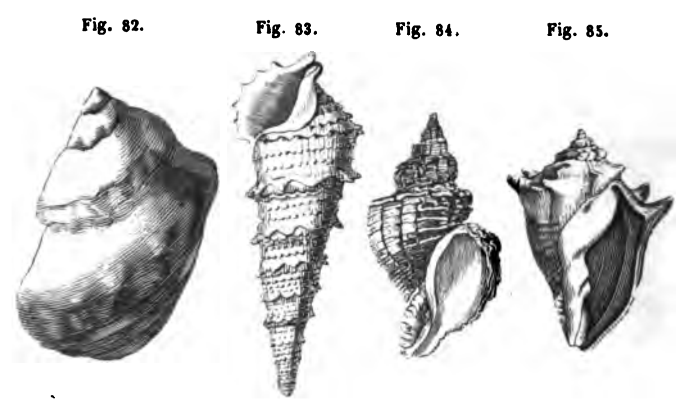


Fig. 81. *Spatangus ambulacrum* (*de la craie*).

exemple, dans les figures suivantes. Mais laissant de côté ceux de ces débris (fig. 82) sur lesquels, à la première vue, on pourrait

Fig. 82. Fig. 83. Fig. 84. Fig. 85.



Turbo costarius. Cerithium mutabile. Murex alveolatus. Voluta athleta.

peut-être conserver quelque incertitude, nous en trouvons beaucoup d'autres qui sont assez caractérisés pour lever tous les doutes. D'abord, parmi les coquilles univalves, il s'en trouve un grand nombre dont l'ouverture se termine par un canal plus ou moins allongé, ou par une échancrure, et qui appartiennent soit aux diverses espèces du genre *cérithe* (fig. 83), dont un très-petit nombre vivent dans les eaux douces, soit au genre *murex* ou *rocher* (fig. 84), dont les espèces sont très-variées ; au genre *volute* (fig. 85), etc., qui sont tous marins, et qu'on trouve très-abondamment dans les dépôts calcaires, si répandus à la surface du globe.

Quant aux coquilles bivalves, la plupart diffèrent généralement beaucoup plus encore de celles qu'on trouve dans les eaux douces ; il en est qui rappellent plus ou moins nos huîtres ordinaires, ou même qui leur ressemblent au point de les croire exactement de même espèce au premier abord ; un grand nombre sont garnies de côtes, de stries, de rugosités (fig. 86, 87), et présentent, en un mot, une foule de caractères entièrement différents de ceux qu'on trouve dans les genres qui appartiennent aux eaux douces, dans lesquels la surface est ordinairement lisse, et l'épaisseur assez faible.

Ajoutons que c'est dans les mers seulement qu'on rencontre les coquilles chambrées, comme celles du genre *nautile* (fig. 88), dont on trouve des espèces depuis les dépôts les plus anciens jusqu'aux

plus modernes. Ce sont les seuls corps auxquels on puisse comparer les nombreuses espèces d'*ammonites* (fig. 89), dont il n'existe pas d'analogues actuellement vivantes, et dont les couches terrestres sont remplies.

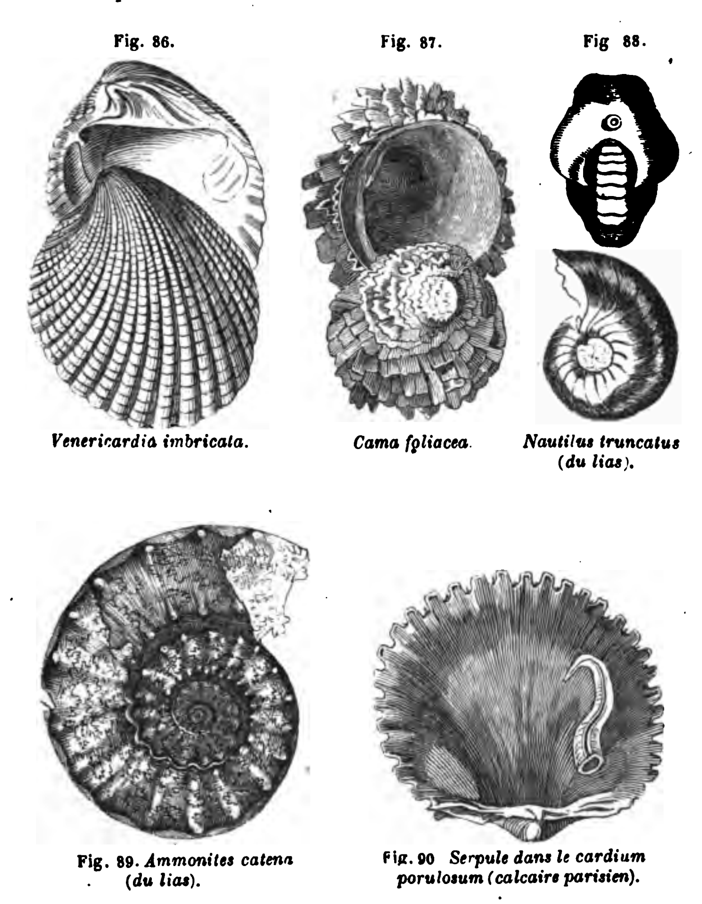


Fig. 86. *Venericardia imbricata.*

Fig. 87. *Cama foliacea.*

Fig. 88. *Nautilus truncatus (du lias).*

Fig. 89. *Ammonites catena (du lias).*

Fig. 90 *Serpule dans le cardium porulosum (calcaire parisien).*

§ 145. Tous ces dépôts ont dû, en général, se former lentement, par l'accumulation des débris des êtres qui périssent successive-

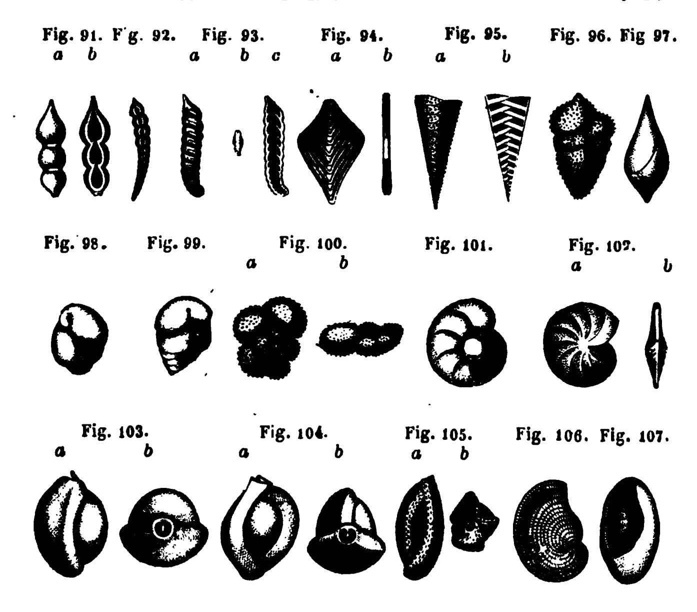
ment, et non par des catastrophes subites qui les auraient tous ensevelis vivants. En effet, on trouve fréquemment dans l'intérieur même des coquilles des restes d'animaux parasites (fig. 90), qui n'auraient pu s'y fixer si les mollusques dont elles proviennent n'avaient été préalablement détruits. Souvent même la dépouille du parasite est remplie par d'autres, ce qui indique encore un long séjour au fond des mers. Les deux pièces des coquilles bivalves sont aussi fréquemment séparées, ce qui fait voir que l'animal était mort avant qu'elles fussent enfouies. Enfin ces débris organiques sont percés par des lithophages, aussi bien que les cailloux calcaires qui les accompagnent, ce qui conduit aux mêmes conséquences.

Il faut admettre aussi que ces dépôts sont sur la place même où les animaux ont vécu, car ils renferment un grand nombre de coquilles intactes dont les appendices les plus délicats sont d'une conservation parfaite. Cette circonstance ne peut s'accorder avec l'idée d'un transport par des courants, qui, en les entraînant, auraient naturellement tout brisé.

Au moyen des débris que nous venons d'indiquer, on reconnaîtra toujours les dépôts marins, si abondants à la surface du globe, et qu'on trouve si fréquemment en France. Tous les environs de Paris, la Normandie, l'Artois, la Picardie, la Franche-Comté, la Bourgogne, les Cévennes, le Dauphiné, la Provence, etc., nous en offrent de tous les âges et de tous les genres.

§ 146. **Dépôts de foraminifères.** — Indépendamment des mollusques, des échinides, des polypiers, etc., il y a beaucoup d'autres débris organiques qui ont concouru très-puissamment encore à la formation de certains dépôts géologiques : tels sont, d'un côté, les foraminifères (§ 119), et de l'autre les infusoires eux-mêmes, qui sont devenus très-importants depuis les belles découvertes qu'on doit à M. Ehrenberg.

Les foraminifères sont des coquilles essentiellement marines, dont la plupart restent beaucoup au-dessous de 1 millimètre, et dont les plus grandes ne dépassent guère 2 ou 3. Malgré leur petitesse, ces coquilles offrent plusieurs loges, ce qui a conduit jadis à les rapprocher des coquilles chambrées (fig. 88, 89), et par suite à regarder les animaux qui les produisent comme des céphalopodes ; mais on sait aujourd'hui qu'ils appartiennent à des êtres infiniment moins élevés. Les petites loges dont se composent les foraminifères sont groupées de différentes manières, ce qui conduit à plusieurs divisions, où l'on distingue ensuite un grand nombre de genres, dont nous représentons quelques-uns extrêmement grossis (fig. 91 à 107) pour en donner une idée.



Loges empilées sur un seul axe.

Fig. 91. *a*. Nodosaria limbata.
b. Disposition intérieure des loges.
Fig. 92. Dentalina sulcata.
Fig. 93. *a*. Marginulina trilobata.
b. Vue en dessus de la dernière loge.
c. Disposition intérieure des loges.
Fig. 94. *a*. Flabellaria rugosa.
b. Vue dans l'autre sens pour montrer l'aplatissement.

Loges alternes sur un axe.

Fig. 95. *a*. Textularia turris.
b. Disposition intérieure des loges alternes.
Fig. 96. Sagrina rugosa.
Fig. 97. Pyrulina acuminata.

Loges disposées en spirale.

Fig. 98. Bulimina brevis.
Fig. 99. Bulimina Murchisonii.
Fig. 100. *a*. Globigerina cretacea.
b. Vue de profil.
Fig. 101. Rotalina Voltzii.
Fig. 102. *a*. Cristellaria rotula.
b. Vue dans l'autre sens.

Loges réunies parallèlement à un axe.

Fig. 103. *a*. Biloculina bulloides.
b. Vue par le sommet.
Fig 104. *a*. Triloculina trigonula.
b. Vue par le sommet.
Fig. 105. *a*. Quinqueloculina saxorum.
b. Vue par le sommet.

Loges divisées par des cloisons ou des tubes.

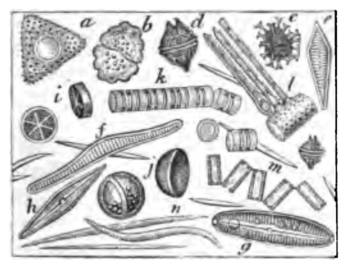
Fig. 106. Orbiculina numismalis.
Fig. 107. Alveolina Boscii.

Ces petites coquilles, dont on connaît 700 à 800 espèces fossiles, se trouvent accumulées en nombre immense dans les couches ter-

restres, et constituent à elles seules des dépôts calcaires très-considérables, dont la craie (§ 276) et les terrains tertiaires (§ 284) nous offrent des exemples dans toutes les parties du monde.

§ 147. **Dépôts d'infusoires.** — Les infusoires qu'on trouve dans les eaux douces et dans les mers (§ 119), plus petits encore que les foraminifères, ne sont visibles qu'avec les forts grossissements du microscope. Malgré cette ténuité, il en est un grand nombre qui sont munis d'une carapace siliceuse, et qui peuvent, en conséquence, s'accumuler au fond de l'eau avec les débris des plantes microscopiques qui y vivent en même temps. Or, quoiqu'il faille plus de 2 millions de ces corpuscules pour faire 1 millimètre cube, M. Ehrenberg a montré que leur accumulation a produit encore des dépôts très-étendus, de plusieurs mètres d'épaisseur, et a concouru puissamment à la formation de beaucoup d'autres. Ils constituent, en effet, en presque totalité, les matières terreuses formées de silice très-fine qu'on désigne sous les noms de *terre* ou *schiste à polir* et *tripoli*, *farine fossile*, *limon siliceux*, ou *gouhr siliceux;* ils se trouvent souvent en abondance dans les silex, les opales, et surtout dans les matières terreuses qui en enveloppent les parties translucides; ils existent en très-grande quantité dans la plupart des marnes, surtout celles des dépôts lacustres, dans les calcaires solides de même formation, dans la craie, etc. Ils forment la totalité des limons qui remplissent les golfes et les anses des côtes de l'Océan et de la Méditerranée, et se retrouvent dans tous les dépôts terreux soulevés du sein des eaux aux époques anciennes et modernes. Ce ne sont plus seulement aujourd'hui les tripolis de Billin, les gouhr siliceux de Franzenbad, etc., qu'on peut citer comme exemples, il en existe partout, et quand on rencontre un dépôt terreux fin, une marne, même de la limonite des marais, on est presque certain de le trouver rempli de ces petits êtres. Il en existe des dépôts de 20 mètres d'épaisseur dans les plaines basses de l'Allemagne occidentale, à plus ou moins de profondeur sous les sables de ces contrées. Une circonstance remarquable, c'est que sous la ville de Berlin, une de ces couches est formée d'infusoires qui vivent et se propagent encore, entretenus sans doute par les eaux de la Sprée, qui se trouvent plus élevées.

M. Ehrenberg a déjà décrit beaucoup d'infusoires fossiles de toutes les parties du monde et de terrains différents, qui constituent un grand nombre de genres dont nous représentons quelques-uns, sous de très-grandes dimensions, dans les figures suivantes.



a. Desmidium apiculosum
b. Euastrum verrucosum.
c. Xanthidium ramosum.
d. Peridinium pyrophorum.
e. Gomphomena lanceolata.
f. Hemanthidium arcus.
g. Pinnularia dactylus.
h. Navicula viridis.
i. Actinocyclus senarius.
j. Pixidula prisca.
k. Gallionella distans.
l. Synedra ulna.
m. Bacillaria vulgaris.
n. Spicules d'éponges.

Fig. 108. *Infusoires fossiles.*

§ 148. **Dépôts charbonneux** — Il est incontestable que les dépôts charbonneux qui se trouvent dans le sein de la terre ont été produits par des végétaux accumulés; ce qui le prouve, ce sont d'un côté les débris que le microscope y fait découvrir aussi clairement que dans la tourbe (§ 124); de l'autre, les tiges et les feuilles nombreuses qu'on rencontre dans les matières terreuses associées. Tout le monde est d'accord à cet égard; mais il n'en est plus de même relativement au mode d'accumulation. Quelques géologues pensent que ces dépôts résultent de l'enfouissement de grands radeaux de plantes, transportés par les fleuves ou les courants maritimes, en supposant que ces courants existaient alors, et échoués en différents lieux; les autres croient, au contraire, que la plupart se sont formés à la manière des tourbières, dans les dépressions marécageuses d'un sol découvert, où les ruisseaux pouvaient apporter aussi les débris de la végétation environnante.

La première idée a contre elle l'énorme épaisseur qu'il faut supposer aux radeaux pour obtenir des couches combustibles telles que nous les connaissons. En effet, en prenant en considération le poids spécifique des bois, leur contenu de carbone, relativement à ce que présentent à cet égard les dépôts charbonneux, on trouve que ceux-ci ne peuvent être que les $\frac{22}{100}$, ou même les $\frac{7}{100}$, suivant les plantes, du volume primitif des matériaux qui leur ont donné naissance. De plus, en évaluant les vides nombreux que produit l'entassement irrégulier de ces débris dans un radeau, on reconnaît que la houille, par exemple, qui est formée par les plantes spécifiquement les plus légères, comme les équisétacées, les fougères, etc., ne peut guère avoir dans ses couches que les $\frac{35}{1000}$ de l'épaisseur du radeau qui les aurait formées. Il en résulte que des couches de houille de 1, 2,... 30 mètres, comme nous en connaissons, auraient nécessité des radeaux de 28, 57,... 857 mètres d'épaisseur, ce qui dépasse évi-

demment les limites de la vraisemblance; de tels radeaux ne pourraient même flotter ni dans nos rivières, ni dans la plus grande partie de nos mers: par exemple dans la Manche, sur la côte orientale de l'Amérique du Sud, etc.

L'idée de formation analogue à celle des tourbières ne présente pas les mêmes difficultés, et n'exige que du temps pour l'accumulation des matériaux organiques nécessaires. A la vérité, dans l'état actuel des choses, ce temps pourrait être très-considérable; car, suivant le calcul de M. de Beaumont sur la quantité de carbone que produisent annuellement nos forêts actuelles, il ne pourrait guère se former sur l'étendue des dépôts charbonneux connus que 16 millimètres de ce combustible en un siècle. Mais tout porte à croire qu'à la température moyenne de 21°, lorsque l'atmosphère était remplie de vapeurs (§ 140) et avec les genres de plantes qui croissaient alors dans nos contrées, la végétation était infiniment plus vigoureuse qu'aujourd'hui; on est même conduit à penser qu'à l'époque de ces formations, où la terre n'était pas encore au degré de refroidissement qu'elle présente actuellement, il se dégageait de son sein beaucoup d'acide carbonique (§ 77) et que la fixation du carbone par les plantes se faisait dès lors plus rapidement. Au reste, ce ne sont pas seulement les dépôts de houille qui réclament un si long espace de temps; il en est de même pour tous les sédiments, et des dépôts calcaires uniquement formés de coquilles, qui acquièrent des épaisseurs bien plus considérables encore, ont certainement exigé bien des siècles pour arriver à ce point.

§ 149. L'hypothèse qui assimile les dépôts de houille aux tourbière se trouve encore fortifiée par les différents caractères qu'ils présentent: tels sont d'un côté les nombreux débris de cryptogames cellulaires que l'examen microscopique fait découvrir dans ces combustibles comme dans la tourbe, les arbres debout avec leurs racines qu'on trouve au milieu des dépôts, et la conservation remarquable des feuilles dans les schistes; de l'autre, la disposition en bassins plus ou moins étendus, isolés les uns des autres (§ 237 à 246), encaissés par des roches antérieures; toutes circonstances qui semblent indiquer des flaques d'eau, des lieux marécageux formés dans les dépressions d'un sol découvert, et qui écartent encore l'idée des radeaux, qui n'auraient pu arriver dans de telles dépressions. Fréquemment aussi on reconnaît qu'un certain nombre de petits dépôts indépendants font partie d'un bassin plus étendu, d'une espèce de lac rempli de matières arénacées contemporaines, à la surface desquelles il se serait formé autant d'amas particuliers de combustible; l en est même qui sont comme renfermés dans des espèces de vallées

anciennes, sur la longueur desquelles ils sont çà et là dispersés. Toutes ces circonstances se présentent dans les dépôts du centre et du midi de la France (§ 355), depuis la Bourgogne jusqu'au fond du Languedoc, ainsi que dans tous ceux des Vosges. Cependant les départements du Nord, la Belgique, l'Angleterre, l'Ecosse, nous présentent les choses tout autrement; là les couches de combustible, nettement prononcées, paraissent s'étendre sur de grands espaces, et l'ensemble des faits, aussi bien que la superposition immédiate à des calcaires marins, qu'on trouve dans toutes ces contrées, conduit à penser que ces dépôts, aujourd'hui disloqués, séparés par les mers, ont jadis fait partie d'un même tout. Ce n'est plus dans des flaques d'eau, dans des lacs resserrés qu'ils paraissent s'être formés; c'est dans une vaste mer qui, d'abord en partie comblée par des calcaires, est devenue sans doute une sorte de marécage, où se développaient des plantes marines, et où se rendaient en outre tous les débris d'une immense végétation établie sur ses bords et dans ses îles. Les mouvements ondulatoires ont peut-être alors stratifié les matières charbonneuses comme tous les autres dépôts de sédiment (§ 116).

Certains dépôts de lignite ont été évidemment formés de la même manière; mais il en est d'autres qui offrent des amas de bois jetés pêle-mêle, plus ou moins bituminisés, conservant leur tissu, enfouis au hasard au milieu des dépôts sédimentaires, et rappelant ceux qui sont charriés par les grands fleuves, qui se déposent dans les lacs, ou qui sont même transportés au milieu des mers (§ 110).

§ 150. Les débris de coquilles sont rares dans les dépôts de houille proprement dits. Il n'y en a de traces dans aucun des dépôts du centre de la France, et ce n'est que dans la grande formation qui comprend les départements du Nord, la Belgique, l'Angleterre, qu'on en a quelques exemples. On cite des coquilles marines dans les houillères de Liége et de Namur, dans celles d'Angleterre, et surtout dans celles des environs d'Édimbourg; mais il pourrait bien se faire que ces coquilles appartinssent aux dépôts sous-jacents. Il y a aussi quelques coquilles d'eau douce analogues aux mulettes et aux anodontes, qui annoncent au moins des affluents d'eau continentale. Dans la plupart des dépôts de lignite, où la structure du bois a généralement disparu, on trouve au contraire un grand nombre de coquilles qui sont d'origine fluviatile, ce qui prouve que la formation de ces matières a eu lieu dans des lacs d'eau douce.

§ 151. **Dépots adventifs divers.** — On remarque souvent, au milieu des terrains stratifiés, des matières diverses qui semblent s'être intercalées au milieu de celles qui ont été formées par la sédimentation générale. Certains dépôts se trouvent pénétrés çà et là

de matières étrangères, tantôt disposées en concrétions plus ou moins volumineuses et en veines qui semblent avoir rempli des fissures, tantôt réparties uniformément dans toute la masse. Ailleurs, entre deux couches distinctes, se trouvent, par place, des dépôts différents limités dans tous les sens, en formant de grandes lentilles ou des amas plus ou moins volumineux. Ces circonstances indiquent nécessairement des précipitations locales, accidentelles, indépendantes de la sédimentation générale, et ne peuvent manquer de rappeler les effets des sources qui amènent tant de matières de l'intérieur du globe, et produisent des dépôts plus ou moins étendus à sa surface.

Il est probable que c'est à des sources silicifères analogues à celles de l'Islande et de Saint-Michel (§ 82, 113), qu'est due la pénétration de certains sédiments par la silice, qui tantôt a consolidé quelques parties de leur étendue, comme dans les grès divers (§ 212), tantôt y a formé des rognons plus ou moins volumineux, comme dans la craie (§ 277), des veines plus ou moins nombreuses, quelquefois des amas considérables, comme la meulière du calcaire siliceux (§ 286) ou celle des dépôts supérieurs (§ 290). On est également conduit à penser que certains dépôts de gypse, comme ceux qui se trouvent aussi dans le calcaire siliceux, ont été de même produits sur place par des sources, qui sans doute amenaient en même temps toutes les matières argileuses et marneuses qui les accompagnent. Il en doit être de même pour les gypses de plusieurs autres terrains, quoique, dans certains cas, cette substance ait pu être produite aussi par une transformation sur place des calcaires existants (§ 199, 206, 212, 317).

Beaucoup de dépôts salifères, au milieu de leurs argiles, et accompagnés de gypse, ne peuvent manquer de rappeler le phénomène des salzes (§ 81), ou, en général, celui des sources qui amènent à la fois des matières en suspension et des matières dissoutes, dont les eaux peuvent déboucher dans des lacs aussi bien qu'à la surface du sol desséché, et pénétrer par la force d'ascensiondans toutes les fissures du terrain à travers lequel elles se dégagent. Nous verrons d'ailleurs que, dans certaines localités, les dépôts de sel et de gypse sont en relation intime avec des phénomènes ignés accompagnés sans doute d'émanations diverses (§ 199, 317). C'est ce qui a lieu tout le long de la chaîne des Pyrénées, où l'on trouve entre autres les salines d'Anana, en Biscaye, au milieu d'un cratère de soulèvement dont le centre est occupé par l'ophite : une source salée considérable et très-riche sort verticalement d'un puisard pratiqué dans cette roche.

Les dépôts de soufre des terrains calcaires, qui sont d'ailleurs accompagnés de gypse et d'argile, et souvent dans le voisinage des dépôts salifères, doivent encore avoir une origine analogue. Il en est de même des matières bitumineuses qui ont imprégné des sables et des calcaires, et aussi d'un assez grand nombre de dépôts de limonite des terrains calcaires, quoique ces matières aient pu être ensuite entraînées par les eaux courantes pour entrer dans la sédimentation générale. Enfin, il y a beaucoup de circonstances où les dépôts ne peuvent s'expliquer que par des sources qui les ont formés autour d'elles, et en ont imprégné les roches préexistantes ou contemporaines.

Les filons sont aussi des dépôts adventifs ; mais ils sont produits par des injections de matières fondues (voyez § 184, 198 à 208).

EFFETS ANCIENS ATTRIBUABLES A DES SOULÈVEMENTS OU A DES AFFAISSEMENTS.

§ 152. **Considérations générales.** — Quelle que soit la hauteur à laquelle nous puissions reconnaître des dépôts fluviatiles, il n'y a rien qui doive nous étonner; car nous concevons parfaitement qu'à diverses époques, il ait pu exister des lacs à tous les étages de nos continents, comme il s'en trouve encore aujourd'hui, et qu'après leur écoulement, les dépôts soient restés à sec sur le terrain. Mais nous trouvons aussi des dépôts marins à toutes les hauteurs, en couches épaisses très-étendues, et il n'est pas aussi facile de s'en rendre compte au premier moment. De tels dépôts n'ont pu évidemment se former que sous les eaux de la mer ; et puisqu'ils se trouvent à des milliers de mètres au-dessus de son niveau actuel, il faut admettre de deux choses l'une : ou que les mers ont été élevées à une certaine époque au-dessus de ces points, et pendant assez de temps pour y former des couches puissantes, ou bien que ces dépôts, formés au-dessous du niveau actuel, ont été ensuite soulevés du fond des mers jusqu'à la hauteur où nous les trouvons aujourd'hui. Or, rien de ce que nous pouvons observer dans les phénomènes de l'époque actuelle ne nous autorise à penser que les mers aient pu se trouver autrefois à une pareille élévation pendant un temps suffisant pour y former des dépôts considérables, puisque leur niveau n'a pas changé depuis les temps historiques (§ 34)[1]. Rien en-

---

[1] Nous faisons abstraction du déluge universel, qui est indiqué dans les livres saints comme une catastrophe de très-courte durée, et par conséquent incapable

core ne nous conduit à comprendre ce que le surplus des eaux au-dessus du niveau actuel (un volume beaucoup plus grand que ce qui reste aujourd'hui, § 12), pourrait être devenu, à moins d'admettre le concours de la volonté divine, qui dès lors se serait plu, dans les temps anciens, à faire apparaître ou disparaître ces eaux un assez grand nombre de fois, et à interrompre même les lois de leur équilibre. En effet, très-souvent les dépôts coquilliers qu'on aperçoit çà et là à une grande hauteur ne se retrouvent pas sur les sommets correspondants, et se présentent, au contraire, à peu de distance, avec tous leurs caractères, à des milliers de mètres plus bas : dès lors il faudrait supposer que les eaux ont pu s'élever considérablement dans le premier de ces points, et rester basses dans l'autre, ce qui est absurde ; ou bien admettre que les mêmes animaux pouvaient vivre aussi bien à la surface des eaux qu'à d'immenses profondeurs, ce qui est contraire à toutes les observations. Il ne nous reste donc de raisonnablement admissible que l'idée des soulèvements, idée appuyée du moins sur les faits positifs qui ont eu lieu de nos jours, et qui, sans doute, ne sont pas les seuls qui se soient manifestés à la surface du globe. Si les soulèvements ont pu exercer subitement leur action sur deux cents lieues de côtes au Chili (§ 32), en s'étendant au large jusqu'aux îles Juan-Fernandez, s'ils se font avec lenteur dans tout le golfe de Bothnie, dans la Suède et dans la Finlande (§ 35), sur une surface qui n'est pas moins étendue, nous comprenons que de vastes contrées aient pu être également soulevées partout ailleurs et dans tous les temps. L'énorme masse liquéfiée qui forme l'intérieur du globe, oscillant d'un côté ou de l'autre sous sa mince écorce (§ 8) a pu la bosseler dans tous les sens, et il n'en faut pas davantage pour pousser des continents hors des mers et en varier le faible relief de toutes les manières (§ 11). Et qu'on ne s'effraye pas de ce que de tels effets paraissent avoir de gigantesque; c'est parce que nous les comparons à notre faiblesse que nous les jugeons ainsi, car ils ne sont rien relativement au globe lui-même Que sont donc les 7821 mètres de hauteur de l'Himalaya, la plus haute montagne connue, et les 8000 mètres de profondeur fournis par les plus forts sondages au milieu des mers (§ 12), relativement à plus de

---

d'avoir produit les immenses dépôts que nous connaissons, que tout doit faire considérer comme formés lentement. Cette catastrophe d'ailleurs est moderne, et ne peut se rapporter qu'à la dernière modification de nos continents (§ 375 à 378); or, tous les dépôts de coquilles dont nous voulons parler sont de beaucoup antérieurs, et dès lors n'ont aucun rapport avec les faits décrits par l'historien sacré. Voyez le détail des principaux soulèvements.

6 millions de mètres que présente le rayon moyen de la terre? Et cependant de telles éminences, ou de telles profondeurs, qui ne produiraient que 1 millimètre de saillie, ou 1 millimètre de creux sur une sphère de 1 mètre de rayon, sont déjà des raretés sur notre globe, où les grandes inégalités ne sont pas même comparables aux petites cloques qui passent inaperçues sur les coulées de verre ou de métaux préparées dans nos usines. Si nous joignons à ces réflexions l'idée de l'immense force qui s'exerce souvent de l'intétérieur de la terre à l'extérieur (§ 73), rien ne nous étonnera dans les phénomènes qui se présentent à nous. Voyons cependant comment les faits justifient cette conséquence.

§ 153. **Dépôts coquilliers et plages soulevées.** — Ce qui caractérise les parties de terrain soulevées de nos jours au-dessus des mers, c'est la présence, à la surface des rochers mis à nu, de divers coquillages ordinairement fixés à fleur d'eau, comme les balanes, les moules, etc. (§ 32); ou bien celle de quelque dépôt coquillier identique avec ceux qui se forment journellement au fond des mers voisines. Or, en examinant les collines qui bordent les côtes du Chili, on a trouvé sur les plateaux qui se succèdent en terrasses, et dont les bords sont parallèles aux rivages actuels, des coquilles semblables à celles qui ont été mises à sec sous nos yeux, et qui sont encore adhérentes aux rochers, ainsi que des dépôts coquilliers qui renferment les mêmes débris organiques que ceux qui se forment dans l'océan Pacifique. N'est-il pas de la plus grande probabilité que ces dépôts sont aussi les résultats de soulèvements successifs, semblables à ceux qui se sont manifestés de 1822 à 1837? Cette conséquence est fortifiée par l'observation faite à l'île San-Lorenzo, près de Lima, où l'on a trouvé à 30 mètres au-dessus de la mer des dépôts semblables qui renfermaient des joncs tressés, des portions de fil de coton, des débris de poteries, ce qui annonce évidemment une formation effectuée depuis la présence de l'homme dans ces contrées; or, puisque le niveau des mers n'a pas changé depuis les temps historiques (§ 34), il faut bien que ce soit par soulèvement que ces dépôts aient été mis au jour.

§ 154. Les côtes de la Suède se soulèvent lentement, comme il a été établi par les observations les plus précises (§ 35). Or, en creusant un canal près de Stockholm, on a trouvé au milieu des lits de sable, d'argile et de marne, remplis de coquilles semblables à celles qui vivent dans la Baltique, des débris de vaisseaux fort anciens et une cabane en bois. Donc toute cette contrée, jadis sous les eaux, a été soulevée depuis l'existence de l'homme, c'est-à-dire depuis que l'Océan est invariable. Il devient dès lors infiniment probable que le

dépôt coquillier d'Uddewalla, à 70 mètres au-dessus de la mer, où l'on reconnaît encore les débris organiques de la Baltique, et où M. Brongniart a trouvé des balanes fixées aux rochers, comme sur la côte actuelle, est également un résultat de soulèvement. Nous devons en dire autant des dépôts analogues qu'on trouve sur les côtes de Norwége jusqu'en Laponie, et de beaucoup d'autres qu'on rencontre sur les côtes d'Angleterre, dans les îles du grand Océan, etc. Mais voici d'autres faits :

§ 155. Sur la côte de Pouzzoles, on voit, à 7 mètres au-dessus de la mer, des dépôts de coquilles semblables à celles qui vivent encore dans la Méditerranée, avec lesquelles se trouvent des débris de poteries et des fragments de sculptures. Or, nous savons que le niveau de cette mer n'a pas changé depuis les Phéniciens ; par conséquent, c'est un soulèvement effectué depuis l'apparition de l'homme qui a mis ces collines au jour. En Sardaigne, il existe des dépôts semblables, mais plus élevés, où M. de la Marmora a trouvé des traces d'une industrie naissante, et qui renferment en outre des coquilles fluviatiles et terrestres. Enfin, on observe des faits analogues dans une multitude de localités. Or, il se trouve dans les mêmes contrées des collines qui atteignent jusqu'à 700 mètres, où l'on ne voit plus, à la vérité, de débris de l'industrie humaine, mais où l'on rencontre encore les mêmes coquilles méditerranéennes que dans les premières, et quelquefois même avec leur couleur. Ce fait conduit forcément à admettre encore que ces dépôts ont été soulevés du sein des eaux tout aussi bien que les autres, et seulement à une époque antérieure à l'homme dans la contrée. Il faut attribuer la même origine à beaucoup d'autres dépôts analogues qu'on trouve sur les côtes de Sicile, de Sardaigne, des États Romains, de la Toscane, de Nice, de France et d'Espagne. La même conséquence s'applique à ce qu'on observe sur les côtes de l'Océan, en France, en Angleterre, aux Antilles, à Timor, à la Nouvelle-Hollande, et dans plusieurs îles de la mer du Sud. On y reconnaît des plages de sable à diverses hauteurs, des dépôts calcarifères, remplis de coquilles marines semblables à celles qui vivent dans les mers voisines, des huîtres et des balanes fixées aux rochers, enfin des bancs de polypiers (§ 123), identiques avec ceux de nos jours, et le tout élevé plus ou moins au-dessus du niveau des mers.

§ 156. Lorsqu'à l'intérieur des terres on trouve sur le flanc des montagnes, et sur les escarpements, des sillons allongés, des creux, des excavations qui forment des lignes horizontales, il est évident que ce sont d'anciens rivages sur lesquels la mer venait battre, en exerçant ses dégradations comme aujourd'hui (§ 98 à 100), et qui

ont été soulevés à la hauteur où nous les voyons. C'est ce qu'attestent encore les débris roulés de toute espèce, minéraux, ossements d'animaux, coquilles, madrépores, qu'on trouve quelquefois alors au pied des escarpements, aussi bien que les trous plus ou moins nombreux renfermant encore les coquilles des mollusques saxicaves qui les ont formés. On trouve assez fréquemment ces divers indices sur les montagnes calcaires de la Bourgogne méridionale, de la Franche-Comté, du Bas-Dauphiné, de la Provence, etc.

§ 157. **Temple de Sérapis.** — C'est à des événements du même genre que se rapporte le phénomène du temple de Sérapis, sur la côte de Pouzzoles, qui a donné lieu à tant de controverses parmi les géologues. Il ne reste de cet antique monument que trois colonnes de marbre, debout sur un sol qui est à peu près au niveau de la mer (fig. 109). Or, d'une part, il n'est guère vraisemblable que ce temple, d'ailleurs construit avec un grand luxe d'architecture, ait été placé de manière que le sol en fût constamment couvert d'eau, pas plus qu'il n'est probable que la voie antique de Baja, les édifices élevés par Agrippa, plusieurs autres antiquités qui se trouvent aujourd'hui en tout ou en partie sous les eaux, aient été construits dans cette position. D'un autre côté, les trois colonnes qui restent debout présentent, à partir de 3 mètres au-dessus du pavé, et sur une hauteur de 2 mètres, une zone perforée par des coquilles lithophages, ce qui n'a pu avoir lieu que sous les mers. Ainsi ce temple, certainement construit sur un endroit constamment à sec, à quelque hauteur que ce soit, s'est trouvé plus tard sous les eaux jusqu'à 5 mètres, et de nouveau a été remis au niveau de la mer. Or, puisque la Méditerranée n'a pas changé de niveau, c'est aux oscillations du sol qu'on peut uniquement rapporter ce phénomène. Il est probable que le terrain s'est trouvé d'abord à une certaine hauteur au-dessus de la mer, et que c'est alors que toutes les

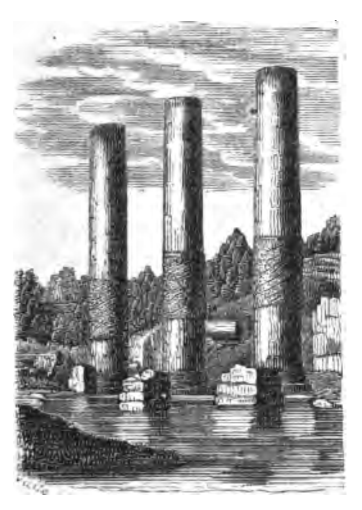


Fig. 109. *Temple de Sérapis.*

antiquités dont nous voyons les restes ont été construites ; que plus tard il s'est fait un affaissement dont nous ignorons la valeur, et qu'enfin un soulèvement de 5 mètres, qui a été jusqu'à 7 en quelques points, a remis le temple à sec en laissant les autres édifices en partie submergés, ce qui prouve que l'affaissement avait été plus fort et plus étendu que le dernier soulèvement.

§ 158. **Conclusion des faits.** — En reconnaissant ainsi que des dépôts très-étendus, formés de coquilles qui vivent actuellement dans nos mers, ont été évidemment soulevés à des hauteurs plus ou moins considérables, ne devient-il pas infiniment probable qu'il en a été de même de tous les autres ? Pourquoi, en effet, n'en serait-il pas ainsi des terrains des environs de Londres et de Paris, de ceux des plaines de la Gascogne, de l'Autriche, de la Hongrie, de la Pologne, etc.? A la vérité, les coquilles qu'on y trouve ne sont pas toutes analogues à celles qui vivent dans nos mers ; mais il y en existe encore en quantité notable (§ 284 à 295), et leur conservation est à peu près la même. Et si l'on admet le soulèvement de ces dépôts, pourra-t-on refuser d'étendre l'hypothèse aux terrains crétacés qui les enveloppent de toutes parts (§ 270 à 282), puis aux calcaires jurassiques qui les avaient précédés et qui constituent la plus grande partie des montagnes calcaires de la France (§ 255 à 269), enfin à tous les dépôts coquilliers dont les débris organiques attestent l'origine sous-marine ? En preuve de cette extension du phénomène, nous allons bientôt citer toutes les dislocations qui en sont nécessairement la suite.

§ 159. **Affaissements de divers dépots anciens.** — S'il est clairement établi que, de nos jours, il s'est fait à la surface du globe des affaissements aussi bien que des soulèvements (§ 32 à 36), l'observation montre évidemment qu'il s'en est fait également à toutes les époques dans les dépôts divers qui constituent nos continents. On observe sur plusieurs points des côtes de France et d'Angleterre, à marée basse, des dépôts très-étendus de végétaux semblables à ceux qui vivent dans nos climats, et que tout annonce être encore à la place où ils ont vécu, parce qu'on y voit des arbres debout et des racines fixées au sol. Ces dépôts reposent sur des matières terreuses jonchées de feuilles entassées les unes sur les autres, et sont recouverts par des argiles remplies de coquilles d'eau douce ; ils renferment des bouleaux, des noisetiers, des chênes, des sapins, des débris de diverses espèces de cerfs, etc. Or, ces *forêts sous-marines*, ainsi qu'on les a nommées, n'ont pu végéter que sur un sol découvert ; et comme elles se trouvent aujourd'hui placées au-dessous des mers, et ne se montrent que dans les grandes marées, il

faut bien que le terrain se soit affaissé depuis l'époque de la végétation actuelle. On a aussi rencontré plusieurs tourbières les unes au-dessus des autres en creusant des puits artésiens en Hollande et à Venise, ce qui montre même plusieurs affaissements successifs.

§ 160. La *couche de boue* de Portland (§ 138), qui renferme des arbres encore en place, atteste l'existence d'un sol végétal, d'un terrain à peu près sec, qui reposait sur des dépôts marins. Cette couche a été ensuite recouverte par des dépôts de calcaire lacustre très-puissant, et le tout passe sous les grès verts qui préludent à la craie (§ 274), et qui sont de formation marine. Il est donc clair qu'il y a eu dans ces lieux un certain soulèvement des calcaires marins inférieurs, sur lesquels s'est établie une végétation terrestre; qu'il s'est fait ensuite un lac, ou un estuaire profond, dans lequel se sont formées des couches de calcaire, de sable et d'argile remplies de coquilles fluviatiles, dont l'ensemble atteint parfois une épaisseur de 200 à 300 mètres. Plus tard même tout ce terrain s'est recouvert de dépôts marins, de grès vert et de craie, qui dans certains points ont eux-mêmes une épaisseur encore plus grande. Enfin il faut qu'un dernier soulèvement ait remonté le tout au niveau que nous observons aujourd'hui.

§ 161. Tous les détails dans lesquels nous entrerons successivement nous ferons connaître des faits du même genre, même sur de grandes étendues et avec des circonstances beaucoup plus remarquables encore que celles qui viennent d'être indiquées (§ 165 à 172, 327 à 375); mais nous citerons encore un exemple frappant de ces oscillations du sol, et il nous sera fourni par les *empreintes de pieds et de pas de certains quadrupèdes* (fig. 110), qu'on a trouvées à

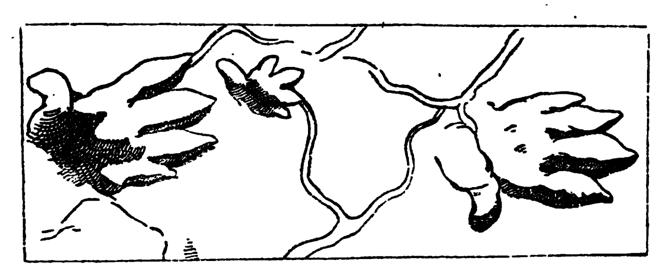


Fig. 110. *Empreintes de pieds de quadrupèdes.*

Hersberg, près de Hildburghausen en Saxe, sur les faces de séparation de certaines couches de grès, et celles de *pieds d'oiseaux divers*

(fig. 111) qu'on a observées dans la vallée du Connecticut, aux États-Unis d'Amérique, dans les mêmes dépôts. Ces empreintes attestent que le terrain conservait une certaine mollesse, quoiqu'il fût en partie desséché, ce qui est mis en évidence par les rides qu'il présente, et que par conséquent il fût hors de l'eau ; or la couche où ces animaux ont marché se trouve aujourd'hui recouverte par une autre qui s'est modelée sur leurs traces, puis par des dépôts considérables des mêmes matières, qui n'ont pu se former que sous les eaux : donc il a fallu que le terrain, d'abord soulevé pour que des animaux terrestres pussent y marcher, s'affaissât successivement ensuite pour recevoir tous ces sédiments, et qu'en définitive il ait été de nouveau relevé pour arriver au point où nous le voyons aujourd'hui.

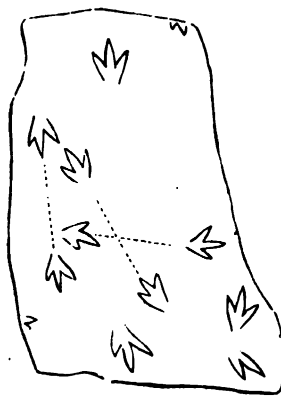


Fig. 111. *Empreintes de pieds d'oiseaux.*

§ 162. **Affaissement de la Caspienne, cratères d'effondrement.** — En voyant clairement, par les faits modernes (§ 32 à 36), et par les phénomènes que présentent les dépôts anciens dont nous venons de parler, qu'il s'est fait de tout temps des affaissements à la surface du globe aussi bien que des soulèvements, nous sommes naturellement conduits à expliquer de même différents faits qui ne sont pas moins remarquables. Si le niveau de la Caspienne et de toute la contrée environnante se trouve aujourd'hui au-dessous de l'Océan (§ 23), nous sommes portés à croire que c'est par l'effet d'un affaissement du sol, qui se trouve en relation avec le soulèvement des hautes cimes volcaniques qui forme le centre de l'Asie. Il en a été probablement ici comme de la formation du grand lac Mitsou-Oumi, dans l'île de Nifon, qui eut lieu dans une nuit en l'an 286 avant notre ère, au moment où le Fousi-no-Yama, la plus haute montagne du Japon, s'éleva du sein de la terre. Quelque chose d'analogue s'est passé sans doute au milieu de la Judée, où toute la contrée du Jourdain, de la mer Morte au lac de Tibériade, se trouve aussi plus bas que la Méditerranée. La mer Morte est entourée de montagnes trachytiques, dont l'apparition fut peut-être une des causes médiates du grand châtiment infligé aux villes coupables que renfermaient ces contrées.

Nous trouvons sur une plus petite échelle beaucoup d'autres effets qui ne peuvent guère s'expliquer aussi que par des effondrements : tel est, par exemple, le cas du *val del Bove*, sur la pente orientale de l'Etna. Cette vaste excavation (page 37), offre tous les caractères d'un cratère de soulèvement, tant par l'inclinaison des nappes de laves anciennes qu'elle présente, que par les crevasses qui découpent ses bords, surtout à la partie inférieure; mais son étendue amène naturellement la question de savoir ce que sont devenues les matières qui en occupaient le centre. Or, ici comme en beaucoup d'autres lieux, on ne peut s'en rendre convenablement raison que par un effondrement (§ 52), qu'on peut même motiver sur quelques témoins encore saillants au milieu des remblais qui se sont formés plus tard. Une circonstance tout à fait analogue se présente dans le *val Taoro*, décrit par M. de Buch, et qui se trouve placé au pied du pic de Ténériffe, comme le val del Bove l'est au pied de l'Etna.

§ 163. **Cratères-lacs**. — C'est à des effondrements qu'on peut rapporter la formation de certains lacs profonds, et en forme d'entonnoir, dans lesquels on voit moins le caractère des cratères de soulèvement, que celui des *fontis* qui se forment au milieu des terrains meubles placés au-dessus de quelque excavation. Tels sont le *lac Paven*, au pied des masses trachytiques du Mont-Dore, en Auvergne; plusieurs lacs des Vosges, au milieu des granites et des porphyres; enfin les lacs qui couvrent le plateau de l'Eiffel, et qu'on a désignés fréquemment sous le nom de *cratères-lacs*. Ces derniers ont cela de particulier qu'ils se sont formés à fleur du sol au milieu des terrains schisteux dont les couches sont restées en place, ou plutôt même se sont quelquefois affaissées vers le centre de la cavité. On ne peut évidemment expliquer ces dispositions particulières que par des effondrements, qui ont même quelquefois communiqué assez profondément à l'intérieur de la terre pour donner passage à des scories. On en trouve en effet d'éparses sur les bords de plusieurs de ces ouvertures et jusqu'à des distances plus ou moins grandes : c'est ce qu'on voit autour de plusieurs des cratères de l'Eiffel, creusés au milieu des schistes, autour du *Gouhr de Tazana*, creusé au milieu des granites, sur les confins de l'Auvergne et du Bourbonnais, etc.

Quelque étonnants que puissent paraître ces effondrements, ils n'ont rien de plus extraordinaire que ceux qui se sont formés pendant les tremblements de terre de la Calabre (§ 30), que ceux qui ont eu lieu à Saint-Michel des Açores, à l'ancienne Césarée de Cappadoce en 1835 (§ 53), que tous ceux du même genre qu'on trouve dans les chroniques diverses. Les affaissements du pic des Molu-

ques, du Carguaraizo, du Papandayan, etc., nous montrent assez ce qui peut arriver dans le cours naturel des choses pour faire comprendre les effets qui peuvent avoir été produits dans les différentes phases de notre planète.

§ 164. **Restes d'anciens continents.**— Remarquons encore que si un grand nombre d'îles, dans les mers du Sud, paraissent dues à des rescifs madréporiques (§ 120), que des soulèvements ont portés ensuite à une hauteur plus ou moins considérable au-dessus des mers (§ 123), il en est d'autres qu'on est tenté de considérer comme des restes d'anciens continents, dont la plus grande partie se serait affaissée sous les eaux. Ce sont celles où vivent aujourd'hui cantonnés un certain nombre d'animaux particuliers qu'on ne retrouve pas ailleurs, et qu'on ne sait dès lors d'où faire venir en admettant des soulèvements, ni comment faire passer d'une île dans l'autre lorsqu'ils sont communs à plusieurs. L'hypothèse d'affaissement laisse peut-être moins de difficultés, car ces êtres spéciaux seraient alors les restes de la faune qui existait sur ces continents avant qu'ils fussent en partie détruits. Cette manière de voir, qui est admise aujourd'hui par plusieurs naturalistes, n'a rien de contraire aux observations géologiques, et pourrait même s'appuyer sur beaucoup d'entre elles ; mais il reste à connaître comment elle s'accorde avec les faits locaux, et c'est aux observations futures à nous l'apprendre.

REDRESSEMENTS ET DISLOCATIONS ATTRIBUABLES A D'ANCIENS SOULÈVEMENTS.

§ 165. **Pourquoi il faut supposer des redressements.** — Les dépôts arénacés et coquilliers que nous trouvons à la surface solide du globe se présentent fréquemment en couches sensiblement horizontales, comme ceux qui se forment sous les eaux (§ 108 à 116). Dans ce cas, les galets aplatis, les valves d'huîtres ou d'autres bivalves, sont déposés à plat, et les coquilles turriculées couchées sur leur longueur (fig. 112), circonstances qui s'accordent avec l'idée de formation lente par des matières livrées à la seule action de la pesanteur. Cependant il arrive souvent aussi que nous voyons ces couches plus ou moins inclinées dans certaine partie de leur étendue, redressées même jusqu'à la verticale, et quelquefois renversées ; or, on y reconnaît encore alors tous les caractères de l'horizontalité primitive, car les débris de coquilles et les galets aplatis se trouvent toujours disposés parallèlement aux plans des couches (fig. 113), comme dans la partie demeurée horizontale. Certains dépôts renferment aussi des géodes d'agates dans lesquelles on voit des stalactites

dont l'axe est plus ou moins incliné, (fig. 114), ce qui est directement opposé à la manière dont se produisent ces sortes de configurations.

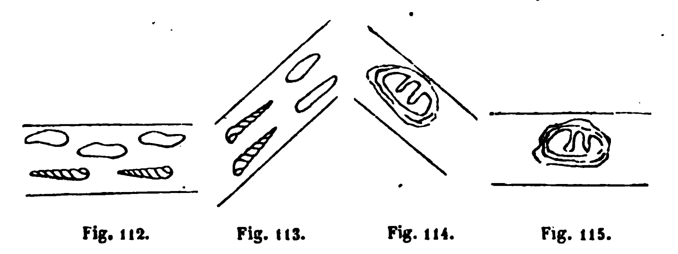


Fig. 112. Fig. 113. Fig. 114. Fig. 115.

Il résulte de là que ces dépôts ne sont pas formés en couches redressées comme nous les voyons aujourd'hui : car, d'un côté, les débris de coquilles et les galets auraient culbuté pour se placer en équilibre stable, ou rouler au pied des talus; de l'autre, les stalactites se seraient formées suivant la verticale (fig. 115). Tout nous montre donc que les couches étaient d'abord horizontales, et qu'elles ont été dérangées de cette position naturelle postérieurement à leur formation; c'est là un des grands phénomènes géologiques dont nous avons à rechercher la cause.

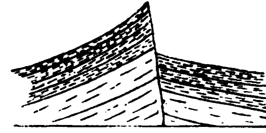
§ 166. Pour nous guider dans cette étude, nous avons, comme point de comparaison, les effets produits pendant les tremblements de terre, et ceux qui résultent des phénomènes volcaniques. D'un côté, les crevasses qui se forment alors dans le sol, jusqu'à une profondeur plus ou moins considérable, ne peuvent être évidemment que l'effet d'un soulèvement; car l'écartement des parties ne résulte ici ni du dessèchement ni du refroidissement qui auraient pu produire des retraits dans la masse. Aussi remarque-t-on, dans le voisinage des fentes, que le sol ne se trouve plus sur le même plan que le reste de la contrée, qu'il est alors plus ou moins bombé, et que souvent une des parties est plus élevée que l'autre (§ 30). Or, pour que le sol ait été soulevé, il faut bien que les couches intérieures aient été dérangées de leur position; par conséquent, lorsque, dans un terrain à couches horizontales, il se fait une fente en ligne droite (comme § 30, fig. 9), il faut que les couches se trouvent inclinées de part et d'autre sur toute sa longueur, comme les deux pentes d'un toit. Lorsqu'il se fait plusieurs fentes divergentes (comme fig. 10), les lambeaux de terrain doivent s'incliner symétriquement autour de l'axe de soulèvement.

Nous avons aussi, d'un autre côté, les phénomènes que présente

le Monte Nuovo, d'abord soulevé, puis crevé au sommet, et nous montrant aujourd'hui, relevés autour de son axe, tous les dépôts qui se trouvent en couches horizontales dans le reste de la Campanie. Enfin, sur une plus grande échelle, nous avons les couches relevées autour du centre d'action de Santorin, et tous les faits du même genre, que nous voyons dans un grand nombre de lieux où l'action volcanique se manifeste encore de nos jours (§ 39 à 51).

Maintenant, si nous trouvons que toutes les couches inclinées que nous observons à la surface du globe peuvent être rapportées à l'une ou à l'autre de ces dispositions, nous serons en droit de conclure qu'elles ont été relevées par les mêmes causes; or, c'est précisément ce que nous allons reconnaître partout.

§ 167. **Failles.** — Nous avons vu que quand il se fait une crevasse il arrive souvent (§ 30) que l'une des parties du terrain se trouve plus élevée que l'autre, tant lorsque la fente demeure ouverte, que quand elle se referme subitement. Or, les mêmes dispositions se présentent très fréquemment à la surface du globe, et il est à présumer qu'elles ont été produites par une circonstance semblable, par un soulèvement. Les couches sont alors inclinées de part et d'autre (fig. 116), et l'une des parties se trouve plus ou moins élevée au-dessus de celle qui lui est adjacente; à la jonction on distingue quelquefois, par les travaux souterrains, soit une fente ouverte, ou remplie postérieurement de gravier, soit une fissure légère, ou tout au moins une surface de séparation, dont les plans sont lisses, et quelquefois polis ou striés verticalement, ce qui annonce une crevasse fermée, un glissement d'une partie sur l'autre. Ces dispositions ont été désignées sous le nom de *failles*, de l'allemand *fall*, chute, affaissement, parce que l'une des parties se trouve plus basse que l'autre; elles se manifestent dans toute espèce de terrain, et présentent alors des crêtes qui s'étendent sur de très-grands espaces, à peu près en ligne droite, quelquefois interrompues çà et là, mais dont les différentes parties se trouvent dans la même direction. Il en résulte des croupes de montagnes plus ou moins élevées, assez communes à la surface de la terre, et dont les Vosges, le Jura, les Alpes, les Cévennes, etc., nous offrent un grand nombre d'exemples.


Fig 116. *Exemple de faille*

Si les failles se manifestent à la surface du sol par des crêtes plus ou moins relevées, on les reconnaît aussi à l'intérieur de la terre

par les dérangements qu'elles ont occasionnés dans les dépôts exploités pour les besoins des arts. C'est ainsi, par exemple, que dans les houillères une même couche de combustible, *a*, *b*, *c* (fig. 117), se trouve quelquefois tellement dérangée çà et là de sa position, que le mineur, après l'avoir exploitée sur une partie de sa direction, de *d* en *c*, par exemple, la voit tout à coup finir. Il abandonnerait évidemment tous les travaux si l'expérience ne lui avait appris qu'en suivant la faille il retrouvera le dépôt soit au-dessus, soit au-dessous du point où il s'est trouvé subitement arrêté.

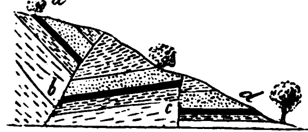


Fig. 117. *Couche disloquée par des failles.*

Quelquefois il est aussi résulté de ce dérangement des couches de funestes erreurs pour les spéculations. Voyant, par exemple, à la surface du terrain divers affleurements de matière exploitable, *a*, *b*, *c*, *d* (fig. 118), on en a conclu la présence d'autant de couches différentes, et par conséquent une grande apparence de richesses, pour lesquelles on pouvait faire toutes les avances possibles, lorsqu'en réalité ce n'était que la même couche, disloquée et remontée à différents niveaux par des failles successives.

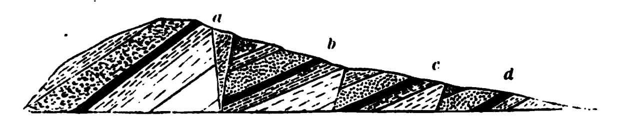


Fig. 118. *Dislocation donnant à une seule couche l'apparence de plusieurs.*

§ 168. **Disposition cratériforme.** — La formation connue du Monte Nuovo, en nous faisant comprendre le relèvement des couches que présente sa cavité cratériforme (§ 40, 51), nous conduit à attribuer aussi à des soulèvements, dont les époques sont inconnues, la structure de plusieurs autres buttes de la même contrée, telles que celles de la Solfatare de Pouzzoles, de Camaldoli, d'Astroni, etc., où les couches sont toutes relevées vers l'axe de l'excavation qu'on trouve au centre. Dans ces buttes, le fond de la cavité, surtout à Astroni fig. 119), présente souvent la pointe d'un dôme trachytique, qui


Fig. 119. *Disposition cratériforme avec butte de trachyte au centre.*

sans doute, en se soulevant comme à Santorin (§ 49, 57), a produit le relèvement des couches du tuf ponceux environnant. Ces buttes à cratères expliquent immédiatement toutes celles des Champs-Phlégréens, qui sont pleines au sommet, mais dont toutes les couches se relèvent également autour d'un axe (fig. 120) ; probablement il se trouve aussi à leur base quelque pointe de cône qui ne s'est pas élevée avec assez de force pour crever le sommet. Ce qu'il est important de remarquer, c'est que ces buttes isolées se trouvent généralement alignées par files dirigées toutes de la même manière, ce qui semble indiquer des crevasses sur la direction desquelles, comme nous l'avons vu dans les volcans brûlants (§ 66), les matières fondues tendaient à sortir.

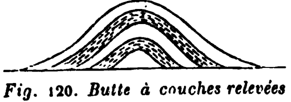


Fig. 120. Butte à couches relevées vers le sommet.

Nous trouvons en beaucoup de lieux des circonstances tout à fait semblables sur une plus grande échelle. Dans le Cantal et le Mont-Dore, des *nappes* basaltiques et trachytiques (voyez *Minéralogie*), qui, d'après leur uniformité d'épaisseur, ne peuvent avoir été déposées que sur un sol horizontal (§ 67), se trouvent maintenant relevées autour d'un ou de plusieurs centres, laissant vers leur point de convergence un bassin cratériforme plus ou moins étendu, ou se dressant autour d'un dôme trachytique (fig. 121), quelquefois élancé, comme le pic de Ténériffe, au-dessus des escarpements qui l'entourent. Des masses granitiques, comme au hameau du Pal, près de Monpezat en Vivarais, présentent également des cirques au milieu desquels s'élèvent des buttes de basaltes ou de scories, dont l'apparition a sans doute suivi la première explosion, comme au Monte Nuovo et à l'île Saint-Georges (§ 39, 40). Le bassin de Schemnitz, en Hongrie, n'est aussi qu'un vaste cratère de soulèvement, à peu près libre, n'ayant qu'une butte basaltique au centre, et dont le pourtour est en grande partie formé par des couches de porphyre vert qui sont relevées de toutes parts. D'autres porphyres forment de même un cirque, dont les sommets sont couverts de neige, autour de l'Elburz, le pic trachytique le plus élevé du Caucase. Dans tous ces cas, la masse de l'enceinte circulaire se trouve coupée par des vallées profondes, résultat corrélatif du soulèvement, et qui rappellent inévitablement les barancos de Palma (§ 51); ces ruptures, en un mot, présentent tous

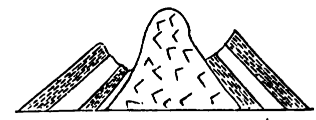


Fig. 121. *Nappes redressées autour d'un dôme trachitique.*

les caractéres que nous avons indiqués dans les cratères de soulèvement.

§ 169. Mais ce n'est pas seulement dans les contrées qui présentent des basaltes, des trachytes, des scories et des ponces, que ces dispositions cratériformes se manifestent; elles ne sont pas moins communes dans beaucoup de localités où la nature des roches ne rappelle en rien les volcans. Et d'abord au milieu des Alpes, on voit des calcaires, des schistes, diverses sortes de roches former, par leurs couches relevées, un vaste cirque au milieu duquel s'élève le Mont-Blanc, à peu près comme le pic de Ténériffe dans son enceinte basaltique. Plus loin, à l'ouest, dans l'Oisan, le cirque qui entoure le hameau de la Bérarde, si bien décrit par M. Élie de Beaumont, présente, par la disposition de ses couches de gneiss relevées, par ses crevasses au pourtour, par l'unique vallée qui y donne entrée, les caractères les plus positifs qu'on puisse observer dans les cratères de soulèvement. Les cirques qui se trouvent dans le haut de la plupart des grandes vallées des Alpes et ceux que l'on voit sur divers points des Pyrénées, offrent encore des circonstances semblables; c'est-à-dire qu'on y voit des couches relevées de toutes parts vers leurs centres, mais quelquefois interrompues, comme au pied du Mont-Rose, par des roches massives où la stratification disparaît (§ 116). Partout, au milieu des granites ou des porphyres divers, on rencontre des cirques analogues, dont les parois escarpées sont découpées par des vallées plus ou moins profondes, dont le centre est occupé par un lac, et où les rivières prennent leur source; c'est ce qu'on voit dans les Vosges au pied des ballons, dans le Morvan, dans les montagnes de Tarare, etc. Ailleurs, des buttes de porphyre noir, ou mélaphyre, se trouvent ainsi au milieu d'un bassin autour duquel les couches de schiste et de grès houiller se trouvent relevées, comme à Bitschwiller dans les Vosges, etc.

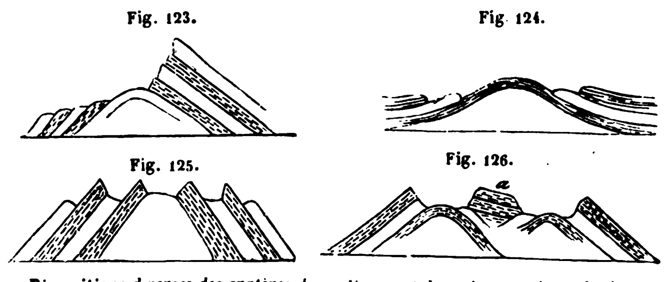
§ 170. **Même disposition dans les terrains calcaires.** — Les contrées calcaires nous présentent tout aussi bien que les autres ces sortes d'accidents; seulement les cavités cratériformes, au lieu d'être à peu près circulaires, comme celles que nous avons indiquées jusqu'ici, sont le plus souvent allongées et très-irrégulières, comme on le voit surtout dans les montagnes du Jura. Ce sont, en général, des effets produits en longueur, comme des fentes, qui s'étendent quelquefois à de très-grandes distances, et ont formé sur leur direction des buttes allongées, alignées entre elles, offrant çà et là des sommets plus saillants. Or, ces sommets sont le plus souvent déchirés, et présentent ce qu'on a nommé des *vallées fermées*

ou des ***vallées d'élévation*** **(fig. 122), qui, en définitive, ne sont que des cratères de soulèvement.**



Fig. 122. *Plan d'un cratère de soulèvement dans les terrains calcaires.*

Les déchirements des montagnes calcaires ne présentent pas tou-ours l'uniformité cratériforme que nous avons jusqu'ici indiquée. D'une part, il arrive que sur l'une des pentes les couches déchirées sont restées en arrière, tandis que sur l'autre elles ont été soulevées : e déchirement se présente alors, dans la coupe transversale, comme fig. 123. Ailleurs, les couches supérieures se sont comme retirées



Dispositions diverses des cratères de soulèvement dans des terrains calcaires.

dans le sens horizontal, et, les couches inférieures se bombant sans se fracturer, il en est résulté des dispositions comme fig. 124. Souvent, parmi les couches soulevées, il en est qui se désagrégent très-facilement et dont la saillie se trouve bientôt culbutée, ce qui entraîne la chute des couches solides supérieures ; il en résulte diverses crêtes de roches parallèles les unes aux autres, séparées par de petites vallées, souvent fermées, où se rendent les eaux pluviales, et qui se couvrent alors de végétation : la crête générale de la montagne se présente alors dans la coupe comme fig. 125. Quelquefois aussi le sommet ne présente plus qu'une masse de blocs calcaires entassés les uns sur les autres, et qui se trouvent disposés en lignes

comme si on les avait réunis par nature de pierre. Enfin remarquons que quand il s'est formé deux soulèvements parallèles (comme fig. 126), il arrive quelquefois qu'une portion *a* du terrain s'est trouvée emportée, et qu'elle forme alors le point culminant de tout le massif, en présentant l'apparence d'une répétition de certaines couches dans le même dépôt.

Dans les terrains calcaires que nous venons de citer, la partie centrale du soulèvement cratériforme ne présente le plus souvent que l'une des couches sédimentaires composantes, qui se trouve alors plus ou moins bombée. Mais il arrive quelquefois aussi qu'il apparaît au centre du déchirement des matières en masse, d'une nature ou d'une autre, très-différentes de celles du terrain bouleversé. C'est ce dont nous avons vu des exemples dans les Champs-Phlégréens, par les buttes trachytiques qui se trouvent au fond des cratères de soulèvement formés au milieu des couches sédimentaires d'agglomérats ponceux (fig. 119). Nous en avons aussi dans les Alpes, comme dans beaucoup d'autres contrées, où nous voyons des masses granitiques, et beaucoup d'autres roches cristallines, crevasser et redresser les divers dépôts de sédiment sous lesquels elles apparaissent, et les traverser quelquefois comme par une vaste boutonnière qui s'est faite au milieu d'eux. Nous apprécierons plus tard la valeur de ces faits.

§ 171. **Relèvement et contournement sans dislocation.** — Si le redressement des couches est souvent accompagné de ruptures, il arrive fréquemment aussi qu'il se fait sans aucune dislocation apparente. Nous l'avons déjà remarqué dans les monticules isolées des Champs-Phlégréens (fig. 120), et on le voit également sur des longueurs plus ou moins considérables qui présentent alors des côtes plus ou moins saillantes, ou des *lignes anticlinales*, suivant une expression reçue, formées par des couches relevées de part et d'autre comme les deux pentes d'un toit : cette circonstance présente encore des effets comparables à ceux qu'occasionnent les fentes, mais produits alors sur des couches susceptibles d'un certain degré de flexibilité, comme les matières placées au centre des figures précédentes. Les montagnes du Jura nous en offrent un grand nombre d'exemples ; on y voit souvent diverses crêtes parallèles de ce genre que les plus simples cartes indiquent très-clairement, et qui laissent entre elles des vallées plus ou moins larges, sur les deux pentes desquelles les couches se trouvent relevées. Il en résulte de grandes ondulations de couches, qu'on remarque surtout dans les escarpements produits par les divers déchirements, ou *cluses*, qui coupent transversalement les crêtes en un grand nombre de lieux. Ces ondulations en

grand, qui sont représentées fig. 127, ne sont interrompues que par les déchirements cratériformes des sommets, comme en *a*, que nous avons indiquées précédemment.

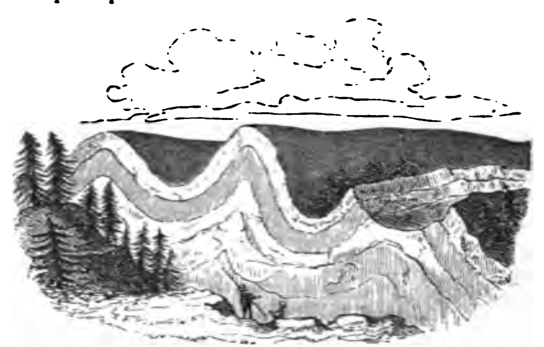


Fig. 127. *Contournements du Jura. Vallées de plissement.*

§ 172. **Plissement des couches schisteuses.** — Les contournements se font aussi remarquer dans d'autres circonstances, où il semble que les couches, à un certain état de flexibilité, ou peut-être à l'état pâteux, ont été plutôt comprimées en deux sens opposés que soulevées. C'est en effet l'idée à laquelle on est naturellement conduit par certains faits qu'on observe dans les dépôts de matière à structure schisteuse. Souvent il arrive que les feuillets de ces dépôts, au lieu de se continuer sur un même plan, horizontal ou incliné, se trouvent tous extrêmement contournés sans cesser d'être parallèles, ou repliés sur eux-mêmes en zigzags plus ou moins aigus (fig. 128). L'idée de la cause d'un tel plissement a été vérifiée jadis par sir

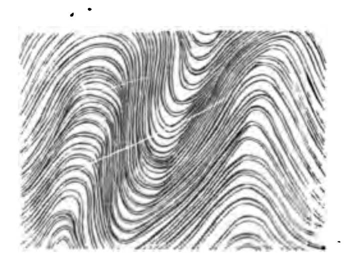


Fig. 128. *Contournement des schistes.*



Fig. 129. *Contournement des houilles.*

James Hall, qui, après avoir placé les unes sur les autres des galettes d'argile humectée, et les avoir chargées d'un certain poids, ima-

gina d'en comprimer latéralement l'ensemble. Toutes les couches se replièrent à la fois, comme il l'avait pensé, et prirent une disposition tout à fait semblable à celle des dépôts schisteux qu'il avait observés. Le même effet s'obtient avec des feuilles de carton mince détrempées suffisamment, et qui ont l'avantage de conserver en se desséchant la forme qu'elles ont prise pendant l'expérience.

On observe fréquemment dans les terrains houillers des circonstances complétement analogues : toutes les couches de ces dépôts, tant argileuses que combustibles, se trouvent repliées à la fois, et souvent sous des angles vifs (comme fig. 129). C'est ce qu'on observe surtout d'une manière très-remarquable dans les houillères des environs de Mons en Belgique.

Maintenant, comment ces compressions ont-elles eu lieu? C'est ce qu'il faudrait en quelque sorte expliquer pour chaque localité; mais on conçoit que, dans un dépôt à couches inclinées dont la masse est poussée de bas en haut, la partie supérieure presse de tout son poids sur la partie inférieure, et que les couches de celle-ci, placées dès lors entre deux forces opposées, peuvent se replier sur elles-mêmes si elles sont assez flexibles. D'un autre côté, comme des matières en fusion se sont souvent introduites de vive force dans les dépôts de sédiment, on conçoit qu'il en soit résulté des compressions latérales qui ont produit les mêmes effets.

§ 173. **Origine des vallées.** — Si les montagnes ne sont que les résultats des dislocations qui ont eu lieu à la surface du globe, les vallées ne peuvent plus nous offrir aucune difficulté. Les premières idées qu'on s'est faites sur leur origine ont eu pour base le creusement par l'action érosive des eaux; mais alors les montagnes devant être préalablement formées, il est clair que les eaux auraient toujours dû suivre la pente naturelle du sol, et le sillonner uniquement dans ce sens, comme font aujourd'hui les pluies d'orage; lorsqu'elles se trouvaient arrêtées par un obstacle, ou dans un bassin, elles auraient dû couper préférablement les dépôts de sables et de graviers, ou se déverser par le point le plus bas. Or, nous voyons précisément le contraire de ces actions naturelles : les vallées ne suivent pas, en général, la pente réelle du terrain; ce n'est pas par la partie la plus basse des bassins que les eaux se sont généralement déversées, ni à travers les terrains meubles qu'elles se sont fait un passage. On ne voit pas, en effet, pourquoi la Meuse ne vient pas se jeter dans la Seine, en suivant la pente naturelle du sol, et pourquoi elle coupe au contraire les Ardennes à contre-pente; pourquoi le Rhin se détourne vers Mayence, en coupant un terrain solide, plu-

tôt que de suivre sa direction à travers des terrains plus bas et plus incohérents pour se jeter dans le Weser; pourquoi le Rhône, parvenu à Saint-Genis, ne coupe pas les terrains arénacés qui lui barrent le passage pour se continuer vers la Tour-du-Pin, et se détourne brusquement au nord pour aller passer à travers des calcaires bien plus solidement agrégés et plus difficiles à entamer. Partout on peut faire des observations du même genre, et il semble que les rivières aient toujours reculé devant les dépôts qui, précisément, leur offraient le moins de résistance.

La conséquence à tirer de ces faits, c'est que les rivières, au lieu d'avoir creusé leurs lits, comme on l'a pensé, se sont tout simplement dirigées par des canaux qu'elles ont trouvés tout établis. Or, il n'est pas difficile de remonter à l'origine de ces canaux, ils sont évidemment le résultat des soulèvements qui ont bosselé et déchiré la surface du sol jusqu'alors horizontale Il est clair, en effet, que les couches inflexibles ont dû alors se briser, et qu'il s'est fait en conséquence un nombre plus ou moins considérable de fentes, comme dans la coupe transversale (fig. 130). Ces fentes sont deve-



Fig. 130. Production des vallées par dislocation.

nues des vallées, placées de différentes manières les unes par rapport aux autres, suivant les circonstances du soulèvement : parallèles si l'action, ayant lieu sur une certaine direction, s'étendait suffisamment en largeur; divergentes si l'action se manifestait en un point, comme dans certains massifs de montagnes; souvent enfin perpendiculaires à la direction des chaînes soulevées, comme les fentes secondaires qui se manifestent pendant les tremblements de terre (§ 30, fig. 9), ce qui dut avoir lieu surtout lorsque l'action intérieure forçait quelques matières cristallines à sortir par la fente principale. On conçoit facilement que les crevasses soient restées plutôt ouvertes dans les matières solides que dans les dépôts arénacés, dont les éboulements tendent à combler successivement les vides; et voilà pourquoi les rivières semblent avoir fui les terrains meubles, qu'elles auraient pu si facilement entamer si elles n'avaient trouvé un lit préparé dans une autre direction. De même, dans les bassins successifs que la plupart des vallées présentent, et qui s'offrent à nos yeux comme autant de lacs (§ 18), on reconnaît aisément la cause des défilés par lesquels les eaux s'échappent : ce sont encore des crevasses qui ont dû s'ouvrir surtout dans les matières solides.

§ 174. **Influence des eaux sur les vallées.** — Il ne faudrait pas conclure cependant que les eaux n'ont jamais eu aucune influence sur la configuration des vallées. Il est à croire, au contraire, que dans les événements qui ont si subitement crevassé une contrée, et ont fait écouler tout à coup les eaux qui s'y étaient rassemblées, il s'est produit des courants d'une force effrayante qui, en arrachant et déblayant toutes les parties fracturées par le soulèvement, ont modifié les passages qui leur étaient offerts (§ 92 à 96). On ne peut douter que tous ces débris, charriés avec une vitesse prodigieuse, n'aient sillonné fortement toutes les roches qui restaient en place, et contribué pour beaucoup à l'élargissement et à l'approfondissement des gorges que la rupture avait commencées; nous en avons pour témoins l'usure des roches et les sillons que nous apercevons sur le flanc des vallées, dans la direction des blocs qui ont été transportés au loin à l'époque de ces grandes convulsions de la nature, § 302 à 309. La plus grande partie de nos vallées ont été évidemment façonnées postérieurement par les eaux, et il n'y a que celles qui ont apparu les dernières, comme dans les Alpes du Valais, dans les Andes, etc., qui conservent des traces plus nettes de leur première origine.

Il est probable aussi que certaines vallées qui traversent des terrains meubles, peu disposés à se fracturer, ont été entièrement produites par l'action des eaux. Les vallées auxquelles on peut attribuer cette origine présentent des caractères fort différents de ceux des premières : d'un côté, elles suivent les lignes naturelles des pentes; d'un autre, elles se dérangent de leur direction à l'approche des masses qui offrent plus de résistance, et autour desquelles elles tournent, pour rester constamment dans les dépôts meubles. Telles sont les vallées qui sillonnent les grands dépôts de cailloux roulés qu'on trouve au pied des Alpes occidentales, dans la Bresse, dans le Bas-Dauphiné, tout le long de la vallée du Rhône et dans celle de la Durance (§ 209). La plupart de nos grandes rivières ont elles-mêmes creusé leurs lits dans des alluvions anciennes (fig. 131), fort différentes de celles qu'elles forment aujourd'hui : tel est, par exemple, le cas de la Seine, à Paris, qui a creusé son lit dans un dépôt de cailloux roulés fort différents des graviers qu'elle dépose maintenant

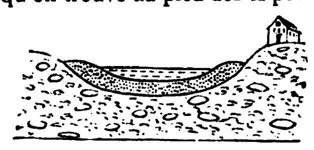


Fig. 131. *Vallée d'érosion dans les terrains meubles.*

§ 175. **Diverses espèces de vallées.** — On voit, d'après

ces observations, qu'il y a lieu à distinguer des vallées de diverses origines, et qu'on peut les rapporter à trois espèces principales.

1° *Vallées de déchirement.* — Ce sont celles qui ont été produites par des fentes de toutes dimensions, quelquefois colossales, formées pendant les soulèvements qui ont amené nos continents à leur relief actuel. Elles présentent, en général, des escarpements rapides, sur lesquels on aperçoit les traces des couches fracturées, et où les angles saillants d'un côté correspondent souvent à des angles rentrants de l'autre. Les cirques qui les terminent fréquemment dans le haut, ou ceux qui les divisent sur leur longueur, sont autant de cratères de soulèvement, dont la plupart sont nettement caractérisés, soit par leurs couches relevées, soit par les barancos qu'ils présentent. Les vallées des Ardennes, des Vosges, des Alpes, des Pyrénées, etc., nous présentent de beaux exemples de cette formation. Dans diverses contrées de la France, nous trouvons également des vallées de même origine, mais la plupart sont beaucoup plus modifiées par les érosions qui ont eu lieu à diverses époques : tel est le cas, par exemple, des vallées qui sillonnent le plateau central de la France dans le Limousin, l'Auvergne, etc.

On a distingué aussi des *vallées d'effondrement;* mais il paraît en exister peu de véritables (§ 52 et 163), et qui soient dues purement à cette cause. Les effondrements sont fréquemment corrélatifs des soulèvements ; et les vallées aussi bien que les cratères de soulèvement peuvent offrir à la fois l'un et l'autre effet, qui doivent avoir eu lieu surtout dans les cirques qu'on trouve sur leur longueur et à leur extrémité supérieure.

2° *Vallées de ploiement* ou *de plissement.* — Elles sont produites par deux soulèvements voisins qui ont déterminé les couches de terrain à se relever de part et d'autre, en laissant un espace libre dont leurs plans forment alors les pentes : c'est ce que nous avons fait remarquer dans les parties hautes du Jura (§ 171, fig. 127). Plusieurs rivières coulent ainsi dans des vallées qui résultent de deux redressements opposés du terrain : tel est, par exemple, le cas de la Loire, après Briare, qui se détourne tout à coup à angle droit en se jetant dans une dépression de ce genre.

3° *Vallées d'érosion* ou *de dénudation.* — Elles ont été formées la plupart dans des terrains meubles ou délayables, comme les ravins que les eaux d'orage produisent sous nos yeux en emportant avec elles les matières qui constituaient le sol. Les derniers encaissements des grandes rivières sont formés de cette manière, et c'est aux érosions qui se font journellement dans les grandes crues que sont

dus les changements de lit que nous remarquons si souvent dans quelques-unes d'elles.

§ 176. **Origine des cavernes.** — Voici encore un de ces phénomènes que l'on a attribués à l'action érosive des eaux ; mais, bien qu'on rencontre au niveau des mers quelques sillons, quelques cavités peu profondes, que l'on peut attribuer à l'action répétée des vagues, il est difficile de penser que ces grands couloirs qui ont quelquefois plusieurs lieues d'étendue, aient été creusés de la même manière. On a si bien senti le peu de part que les eaux ont pu avoir dans ce creusement, qu'on a regardé les espaces, aujourd'hui libres, que nous rencontrons, comme étant autrefois occupés par des masses de sel que les eaux auraient plus tard dissoutes et emportées.

Au lieu de recourir à de telles suppositions, il est à présumer que l'origine première des cavernes est due à des crevasses qui se sont opérées dans l'intérieur du sol. Nous savons, en effet, que pendant les tremblements de terre, il arrive tout à coup que des rivières ou des lacs prennent un écoulement souterrain, tantôt momentané et tantôt continu (§ 30 à 32) ; ce que l'on conçoit par des crevasses intérieures qui ont procuré les conduits nécessaires. Le phénomène coïncide quelquefois avec l'apparition soudaine de quelque source abondante dans des lieux plus ou moins éloignés ; mais souvent aussi les eaux ne reparaissent nulle part, et il faut croire qu'elles vont déboucher immédiatement dans les mers. Ces circonstances nous expliquent la disparition de certaines rivières qui s'engouffrent aujourd'hui sous terre, après un cours superficiel plus ou moins étendu, ainsi que les sources que nous voyons tout à coup sortir des flancs d'un rocher. Elles nous montrent la formation et l'existence des canaux souterrains, et nous font concevoir que, mis à sec par un soulèvement plus ou moins considérable, ces canaux ont pu former les cavernes, aujourd'hui libres, que nous rencontrons à toutes les hauteurs, aussi bien que celles dont le fond est encore occupé par un ruisseau alimenté par les eaux qui suintent de toutes les petites fissures ou qui sont fournies par les lacs ou les rivières supérieurs.

§ 177. Cependant, si l'origine première de ces cavités souterraines ne peut être douteuse, si l'on trouve évidemment toute l'irrégularité d'une fente dans quelques-unes d'entre elles, il faut reconnaître aussi que souvent elles ont subi postérieurement des changements importants. Il est évident d'abord que leurs parois ont dû subir çà et là des éboulements, et ensuite qu'elles ont été modifiées par des eaux courantes chargées sans doute de sables et de limons arrachés de toutes parts ; c'est ce que montrent les formes arrondies, l'usure et le poli des surfaces, les sillons qu'on y rencontre. Des excoriations parti-

culières, qui affectent même jusqu'à la paroi supérieure des voûtes, indiquent une action corrosive dont l'eau seule n'est pas capable, et qui conduit à penser que ce liquide a pu être chargé souvent d'acide carbonique dont l'action s'est ainsi manifestée. On sait, en effet, que cet acide se dégage fréquemment par toutes les fissures du sol, surtout après les tremblements de terre, et que les eaux de sources en sont souvent chargées.

DÉPÔTS ANCIENS ATTRIBUABLES A L'ACTION VOLCANIQUE.

§ 178. **Cônes volcaniques et courants de laves.** — Lorsqu'à la surface du globe nous rencontrons des monticules coniques, tantôt isolés, tantôt alignés plusieurs ensemble sur une même direction, et couverts de scories, quelquefois avec des cavités cratériformes au sommet, entourés de rapilli, il est évident, par analogie avec ce qui se passe sous nos yeux, que ce sont des cônes volcaniques, quelle que soit l'ignorance où nous pouvons être de leur époque d'activité. Si, sur le flanc des montagnes, quelle que soit d'ailleurs leur nature, nous voyons des masses étroites, allongées, terminées dans le bas par un culot, se creusant sur le milieu, s'amincissant et finissant dans le haut par une pellicule de scories disloquées (fig. 32), nous ne pouvons encore douter de leur origine, quand bien même toute autre trace de volcanicité aurait disparu. Des dépôts étroits plus ou moins allongés, dont l'épaisseur varie avec la pente sur laquelle ils se trouvent, dont la surface est scoriacée, tourmentée ou disloquée de diverses manières, doivent être reconnus pour des courants de laves (§ 67 à 69) ; si nous voyons ces matières en galettes, en nappes plus ou moins étendues, compactes à leur partie inférieure, poreuses, celluleuses ou scoriacées à leur partie supérieure, à surface à peu près unie, nous devons conclure qu'elles se sont accumulées sur un sol sensiblement horizontal, ou qu'elles sont venues à un état plus ou moins liquide se rendre dans un bas-fond. Ce sont là évidemment des dépôts sortis du sein de la terre à l'état de fusion, et les caractères en sont assez tranchés pour que nous n'ayons pas même besoin de nous occuper du point de départ ; celui-ci n'est utile que pour les considérations subséquentes.

C'est par des observations de ce genre qu'on reconnaît partout les volcans éteints ; par exemple, ceux de l'Auvergne, si manifestes et si frais, malgré leur antiquité, qu'on les croirait prêts à bouleverser encore la contrée. Ces volcans, qu'il ne faut pas confondre avec les montagnes trachytiques dont nous parlerons plus tard (§ 191), se

trouvent tous sur une ligne dirigée à peu près du nord au sud, en passant par Clermont, qui peut avoir huit lieues de longueur, et qu'on nomme la *chaîne des Puys* (fig. 132). Là se manifestent aussi



Fig. 132. *Vue d'une partie de la chaîne des Puys.*

nettement qu'au Vésuve, et avec bien plus de diversité dans les circonstances, toutes les particularités que nous avons indiquées dans les volcans brûlants (§ 50 à 78); une soixantaine de cônes plus ou moins élevés, formés ou couverts de scories, présentent des cratères non équivoques, les uns entiers, les autres ébréchés par la sortie des laves; on y reconnaît la formation de nouveaux cônes au milieu d'anciens cratères démantelés, les décompositions produites par les émanations gazeuses, toutes les formes, tous les accidents des coulées, dont les unes n'offrent que des pellicules de scories sur des pentes rapides, et dont les autres, qu'on nomme *chères*, présentent les grandes dislocations des pentes de 3 à 5° (§ 67), en s'étendant souvent à de grandes distances. Tous les environs sont couverts par d'immenses dépôts de rapilli et de cendres volcaniques; enfin, rien ne manque à l'observation, si ce n'est la gerbe d'artifices et l'incandescence des laves.

§ 179. Plusieurs parties du Velay et du Vivarais ne sont pas moins caractérisées que les précédentes. Deux lignes, dirigées à peu près du sud-est au nord-ouest, l'une dans la partie occidentale du Velay, l'autre dans le bas Vivarais, nous présentent encore des cônes à cratères avec de véritables coulées, soit dans les vallées, soit sur le flanc des montagnes. Mais les produits de ces courants ressemblent beaucoup moins aux laves des volcans modernes; plus rarement poreux, ils se rapportent généralement à ce qu'on nomme les *basaltes* (§ 312 *i*), c'est-à-dire à des roches d'un noir plus ou moins foncé, à base compacte de labradorite, renfermant du pyroxène noir et presque toujours de l'oxyde de fer magnétique, fréquemment du péridot, et quelquefois des feldspaths en cristaux, qui lui donnent la structure porphyrique (voyez *Minéralogie*). Ces courants forment des dépôts ordinairement assez épais, fréquemment divisés en co-

lonnes prismatiques, quelquefois en grandes pièces irrégulières, toutes circonstances qui indiquent un refroidissement lent (§ 69). Une des plus belles coulées est celle qui a rempli la vallée d'Aulière près de Montpezat, sur la route qui conduit du haut Vivarais à Aubenas. Une partie en a été enlevée sur la largeur, sans doute par la force des eaux qu'elle avait arrêtées; mais le reste repose sur les cailloux roulés qui formaient jadis le fond du ruisseau : c'est là qu'on peut voir, sous la lave, une multitude d'appendices cunéiformes qui proviennent de l'introduction de la matière liquide dans les crevasses du sol ancien dégradé aujourd'hui par les eaux. On peut suivre ce courant jusqu'à la montagne d'où il est sorti, où l'on trouve un des plus beaux cônes à cratère de la contrée, et d'où l'on peut suivre une coulée semblable du côté de Thueyts. Toutes les autres coulées du pays sont plus ou moins analogues à celles dont nous parlons, soit par la nature de la matière, soit par la position.

Sur les bords du Rhin, dans les contrés d'Eiffel et de Neuwied, les volcans à laves poreuses et à laves basaltiques sont en quelque sorte entremêlés, comme pour montrer qu'ils appartiennent à une seule et même opération de la nature : quelques-uns même ont fourni, par diverses bouches, tantôt un des produits, tantôt l'autre, ce qu'on voit surtout au volcan de Mosenberg.

§ 180. **Dépôts basaltiques de diverses sortes.** — S'il existe des basaltes en courants bien déterminés qui se rattachent à des cratères, il se trouve aussi des matières semblables dans des positions très-différentes. Il en est beaucoup qui forment des nappes très-étendues dont l'épaisseur est souvent considérable, et qui constituent de vastes plateaux; d'autres forment des lambeaux éparpillés sur diverses montagnes, au même niveau, se correspondant entre eux, et semblant se rattacher les uns aux autres comme les parties d'un même tout et les témoins d'une vaste nappe disloquée. Il en est encore qui forment des masses isolées, des buttes au milieu des plaines, quelquefois très-éloignées de toute autre formation du même genre. On en trouve enfin en filons plus ou moins puissants, tantôt encaissés dans le terrain qui les recèle, tantôt s'élevant çà et là comme des murailles (§ 72), ou représentant diverses buttes alignées sur leur direction.

Toutes ces dispositions des dépôts basaltiques se rencontrent quelquefois ensemble dans la même contrée, en même temps que la disposition en coulée, comme cela se voit dans le Velay, le Vivarais et sur les bords du Rhin. Ailleurs, au contraire, comme dans le midi de la France, dans diverses parties de l'Allemagne et dans un grand

nombre de localités, il n'y a pas la moindre trace de cônes volcaniques ou de courants. Dans tous les cas, cependant, la roche principale présente sensiblement les caractères généraux des basaltes en coulées, et semble reposer indifféremment sur toute espèce de terrain, même sur la terre végétale, comme dans quelques parties du plateau de Mirabelle dans les Coyrons.

§ 181. **Basalte en nappes.** — Les basaltes en nappes ne peuvent manquer de rappeler les grandes nappes de l'Islande, surtout celles de l'éruption de 1783 ; ils offrent d'ailleurs tous les caractères des laves qui se sont arrêtées sur des terrains horizontaux, ou qui ont rempli des bas-fonds (§ 67 à 69). La partie inférieure est compacte, cristalline, le plus souvent divisée en colonnes prismatiques verticales (fig. 133) ; et la partie supérieure est poreuse, celluleuse, scoriforme, divisée irrégulièrement, se terminant par une surface plane, sensiblement horizontale. Lorsque la masse se compose de plusieurs assises, les séparations sont quelquefois formées par de petits lits de rapilli ; et, le plus souvent, elles se distinguent par les alternatives de matière compacte et de matière poreuse qui annoncent divers épanchements particuliers.

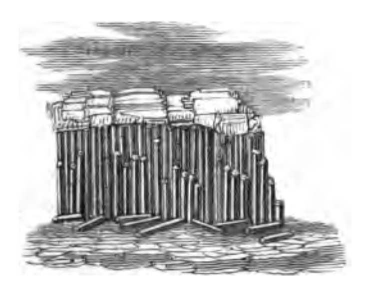


Fig. 133. *Relation des basaltes prismatiques et des basaltes poreux.*



Fig. 134. *Basalte pénétrant dans les fissures sous-jacentes.*

Ces caractères ne peuvent déjà laisser aucun doute sur l'origine ignée de ces dépôts; mais il en existe encore plusieurs autres. Lorsqu'on peut parvenir sous les nappes basaltiques, comme dans le cas où elles reposent sur des terrains meubles on voit presque toujours que la partie inférieure de la masse présente une multitude d'appendices (fig. 134), qui pénètrent dans ce terrain, et indiquent une matière liquide qui s'est moulée dans des crevasses. Les terres sur lesquelles la masse s'est placée se trouvent souvent calcinées

sur une épaisseur plus ou moins forte, et les débris de végétaux qu'elles renferment sont charbonnés, ce que l'on voit sur les escarpements du plateau de Mirabelle en Vivarais, en descendant vers Saint-Jean le Noir.

D'un autre côté, on trouve assez fréquemment à la surface de ces nappes basaltiques des points de scorification, des boursouflements particuliers et même des dépressions cratériformes, vers lesquelles la matière fondue semble s'être retirée en un certain moment avant de se solidifier. C'est ce qu'on observe dans beaucoup de lambeaux basaltiques des plateaux d'Auvergne, et surtout dans l'immense plateau des Coyrons en Vivarais.

§ 182. Ces caractères ne peuvent laisser de doute sur l'origine des nappes ou des lambeaux basaltiques qui les présentent. Il est à présumer que ces matières sont arrivées au jour par certaines crevasses et se sont répandues sur les surfaces horizontales où elles aboutissaient (§ 67). Les dépressions cratériformes qu'on y trouve quelquefois sont peut-être les points principaux de l'éjection, vers lesquels la masse liquide s'est affaissée au moment où la colonne a cessé d'être poussée par la force intérieure qui la sollicitait. Or, l'ensemble des faits qu'on observe dans un grand nombre de plateaux, ou de lambeaux basaltiques, paraît prouver suffisamment, dans la même contrée, pour ceux qui n'offrent pas une aussi grande somme de données, et fournit tout au moins une grande probabilité lorsque, les matières celluleuses et les points de scorification ayant cessé d'exister, il ne reste plus que l'identité de la roche principale.

Tout ce que nous venons de dire concourt à prouver que les basaltes en nappes se sont répandues sur un sol sensiblement horizontal. Si l'on en trouve quelquefois aujourd'hui sur des pentes plus ou moins inclinées, allant même jusqu'à 8, 10 ou 15°, il faut admettre qu'ils ont été relevés après coup, puisque des courants de matières fondues ne peuvent prendre une surface unie et une épaisseur constante sur des pentes de cette espèce. Nous avons vu, en effet (§ 67), que les laves ne peuvent s'amonceler sur des plans inclinés de plus de $\frac{1}{2}$ degré, et qui doivent l'être beaucoup moins encore, lorsque la matière a beaucoup de fluidité, comme cela paraît avoir été le cas du basalte, vu la cristallinité des masses principales. Si nous trouvons en beaucoup de lieux des nappes de basalte inclinées, comme au Cantal, au Mont-Dore, dans la partie nord de l'Auvergne, nous reconnaissons en même temps une foule de circonstances qui nous indiquent des soulèvements du sol postérieurs à leur formation.

§ 183. **Basalte en buttes.** — Ces buttes sont de diverses sortes : il en est qui se présentent comme des restes d'une nappe étendue qui aurait été en partie détruite, et dont il n'y a plus que quelques témoins ; la masse principale de la butte appartient alors à un terrain d'une espèce ou d'une autre, et le sommet seul est basaltique. Pour d'autres, au contraire, toute la butte est formée de basalte, et le pied se perd dans des masses de sables et de débris qui empêchent de voir ce qui se passe au-dessous ; quelques autres enfin se rattachent à des filons, comme nous allons le voir.

Dans un grand nombre de buttes de l'une ou de l'autre sorte, on trouve une composition semblable à celle que nous venons d'indiquer pour les nappes ; c'est-à dire une ou plusieurs couches compactes plus ou moins cristallines, assez souvent divisées en prismes verticaux, et une masse supérieure, poreuse, celluleuse ou scoriacée. La masse compacte manque quelquefois, et toute la butte se compose alors de scories ; ailleurs, c'est le contraire, et le basalte proprement dit est la seule matière apparente. Rarement la surface qui forme le sommet présente ces points de scorification, qu'on trouve dans quelques plateaux.

§ 184. **Basalte en filons.** — Le basalte, avec tous les caractères que nous lui avons attribués (§ 180 à 182, 312 *i*), se présente fréquemment en filons ; le centre de la France, où l'action volcanique se manifeste si fréquemment, en offre beaucoup d'exemples, aussi bien que les bords du Rhin. Le plus souvent la masse du filon est compacte ou fendillée irrégulièrement, mais il arrive aussi qu'elle se trouve partagée en prismes (fig. 135), perpendiculaires aux parois de la fente, qui deviennent alors les surfaces de refroidissement ; c'est un effet semblable à celui que nous avons déjà fait remarquer (§ 69) dans les grandes coulées de laves, dont la masse, arrivée sur un sol horizontal, qui en soutire alors la chaleur, se divise en prismes verticaux. Rarement les matières qui remplissent ces filons sont scorifiées, et cependant on en trouve quelques exemples, comme dans le Vivarais, le Velay et l'Auvergne, notamment auprès de Murat, au pied du Cantal.



Fig. 135. *Filon de basalte prismatique.*

Le plus souvent les filons basaltiques se prolongent jusqu'à la surface du terrain, où ils présentent leurs affleurements; mais il arrive fréquemment aussi qu'ils se terminent par le haut en masses effilées (fig. 136) quelquefois bifurquées, qui se perdent dans la roche qu'elles traversent. Cette circonstance indique positivement que ce n'est pas par le haut que la matière s'est introduite, et qu'elle ne peut être que le résultat d'une injection de l'intérieur à l'extérieur. Quelquefois le filon se glisse entre deux couches, qu'il suit alors sur une étendue plus ou moins considérable; ou bien il lance, en se ramifiant, une partie de sa masse dans leur intervalle, et finit par s'y terminer en coin ou s'y répandre dans toutes les petites fissures de la roche.

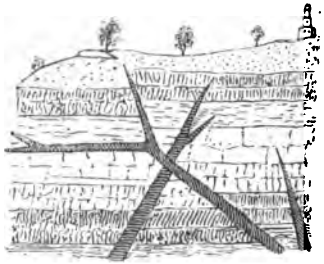


Fig. 136. *Filons basaltiques de Villeneuve-de-Berg.*

§ 185. On peut prendre une idée très-nette de l'origine des filons basaltiques, aussi bien que des effets qu'ils ont pu produire, près du hameau du Pal, en Vivarais, au-dessus de la petite ville de Montpezat, où nous avons indiqué un des plus grands cratères d'éruption basaltique (§ 179). Là, au bout d'un défilé étroit, entre deux montagnes abruptes, on trouve un cirque entouré de montagnes granitiques, escarpées vers son intérieur, et au milieu duquel s'élèvent trois cônes de scories. Or, le granite y est crevassé dans tous les sens, et traversé par des filons basaltiques, les uns assez considérables, les autres très-minces, et dont la matière a pénétré jusque dans les plus petites fissures, ce qui indique à la fois sa fluidité et la force avec laquelle elle était poussée. L'un des grands filons court précisément dans la direction d'une coulée basaltique placée à l'extérieur du cirque, qu'on voit sortir évidemment du granite, et qui se dirige vers Montpezat. C'est de la même manière qu'à la montagne de Chamarelle, près de Villeneuve-de-Berg, dans la même contrée, ce basalte a traversé des masses calcaires, s'est introduit dans leurs moindres fissures, et de telle sorte que sur un échantillon de quelques centimètres on rencontre quelquefois plusieurs alternatives de calcaire et de basalte. Quelquefois aussi le filon s'est introduit entre les couches dont il a suivi quelque temps la stratification, comme nous l'avons déjà indiqué (fig. 136).

§ 186. Sur la direction des filons basaltiques, dont on voit les affleurements à la surface du terrain, il arrive fréquemment qu'on

aperçoit diverses buttes isolées (fig. 137), dont souvent plusieurs se succèdent à des distances plus ou moins rapprochées, et qui paraissent n'être autre chose que des éjections partielles, comme les cônes qui se forment sur une même fente dans les éruptions modernes (§ 66). Le plus souvent elles sont à peu près entièrement composées de scories, mais il s'en trouve aussi qui sont formées de basaltes purs. Quelquefois, au lieu de buttes, ce sont des épanchements en forme de galettes (fig. 138), qu'on trouve aussi çà et là sur la direction du filon. Ces circonstances, dont on voit un assez grand nombre d'exemples dans le bas Vivarais, vers Rochemaure, Villeneuve-de-Berg, etc., et dans les montagnes qui séparent cette province du Velay, tendent à nous expliquer la formation des buttes isolées, aussi bien que les séries de buttes alignées qui se trouvent dans un grand nombre de localités où les filons intérieurs ont rencontré çà et là quelques issues. Nous y trouvons encore l'origine de quelques plateaux basaltiques; de ceux même qui n'offrent aucune des traces ordinaires de volcanicité (§ 181, 184), parce que sur les escarpements des montagnes on les voit en communication avec des filons de même nature qui traversent tout le terrain.

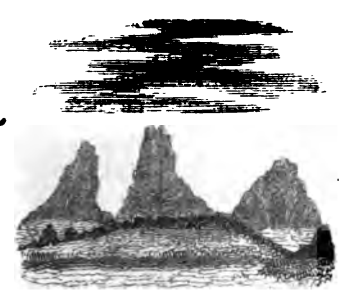


Fig. 137. *Buttes sur la direction d'un filon.*

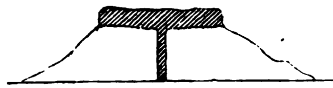


Fig. 138. *Filon se terminant en plateau.*

§ 187. **Action des basaltes sur les roches adjacentes.** — A toutes ces preuves d'origine ignée, il s'en joint plusieurs autres qui résultent de l'action des basaltes sur les matières avec lesquelles ils ont été en contact. Nous avons cité (§ 181) la calcination des argiles sur lesquelles ils reposent, et la carbonisation des débris végétaux; nous devons ajouter que les granites traversés par des filons basaltiques sont fortement altérés, que les portions de ces roches, qui ont été enveloppées dans le basalte, sont souvent fondues à leur surface, que le quarz et le feldspath y sont fendillés, quelquefois enveloppés ou pénétrés de matière vitreuse; c'est ce qu'on voit au volcan du Pal, tant dans les buttes de scories que dans les filons et dans la coulée basaltique. Les calcaires terreux en contact avec le basalte ou traversés par ses filons, et surtout les fragments de ces

matières entraînés dans la masse basaltique, sont convertis en calcaire compacte, quelquefois saccharoïde, comme quand, sous une forte pression, suivant le procédé de sir James Hall, on les fond à une haute température. C'est ce qu'on voit quelquefois à Villeneuve-de-Berg, au plateau de Mirabelle dans les Coyrons, etc. Ailleurs ces calcaires sont devenus en outre magnésiens et présentent de véritables dolomies (voy. *Minéralogie*), qui se distinguent du reste de la masse par leur lente effervescence : c'est ce qu'on indique à Rochemaure et à Chenavari, dans le voisinage des dikes, c'est ce qu'on voit aussi autour des dépôts basaltiques de Lodève et sur divers points du plateau de Larzac, où la dolomisation paraît due à la présence des produits ignés qu'on voit çà et là dans la contrée. Lorsque les filons basaltiques ont traversé des dépôts charbonneux, les argiles sont calcinées, les charbons sont privés de leur bitume et affectent une structure bacillaire, comme au Meisner en Hesse.

§ 188. **Étendues des basaltes.** — Les dépôts basaltiques sont beaucoup plus éparpillés à la surface du globe que les laves en courants déterminés, ce qui tient sans doute à leur mode d'émission. Il ne s'était point fait alors de centre volcanique ; et l'action intérieure du globe, s'exerçant partout, s'est manifestée, dans les points de plus faible résistance, par des déchirures qui çà et là ont donné passage aux éjections. En France on trouve des basaltes depuis la partie septentrionale de l'Auvergne jusqu'au delà de Montpellier, et même encore par lambeaux isolés jusqu'au delà de Toulon. Sur les bords du Rhin l'ensemble des dépôts basaltiques s'étend depuis les Ardennes jusqu'au delà de Cassel, et se prolonge à l'est, dans la Saxe, la Bohême, etc. L'Islande en renferme une grande quantité, et ce sont encore les mêmes roches qui dominent aux Antilles, à Sainte-Hélène, à l'Ascension, etc., et dans la presque totalité des îles de la mer du Sud.

Les terrains basaltiques ont été partout constamment remarqués par suite de la tendance des roches principales à se diviser en longs prismes, dont les dispositions variées ont excité souvent l'admiration des curieux. Ici tous les prismes convergent au sommet d'une butte, qui se présente alors comme un *gerbier;* là ils offrent des *colonnades* magnifiques, de l'aspect le plus pittoresque ; ailleurs toutes les colonnes, brisées sur un même niveau, présentent des *pavés* composés de pièces à pans régulièrement accolées, s'étendant sur un espace plus ou moins considérable, et quelquefois placés en amphithéâtre les uns au-dessus des autres. La grandeur, l'aspect imposant de ces pavés leur ont fait donner le nom de *pavés* ou *chaussées des Géants*.

§ 189. Pendant longtemps on a cité l'Irlande pour ses immenses et pittoresques chaussées des Géants ; mais sans sortir de France, le Vivarais nous présente des effets non moins admirables, surtout entre Vals et Entraigues, sur les bords de la petite rivière du Volant, dont la figure 139 représente une partie. Les colonnades de

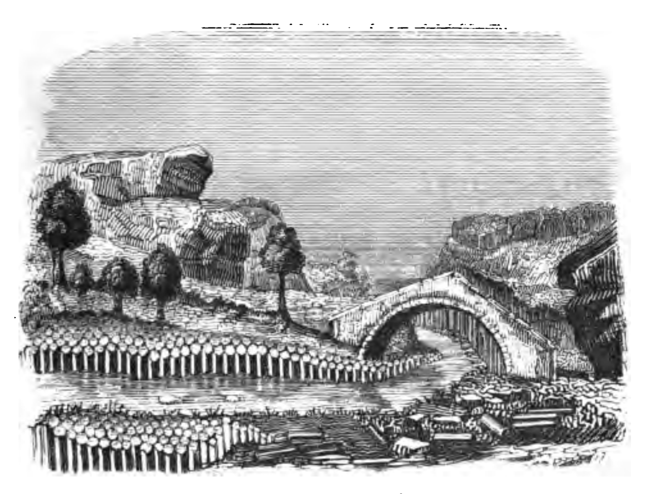


Fig. 139. *Chaussée basaltique du Volant (Ardèche).*

Chenevari, près de Rochemaure (fig. 133), les dikes qui sont près de cette ville (fig. 137), et une multitude d'accidents de toute espèce, ne sont pas moins dignes de captiver notre attention. Un voyage à travers le Vivarais, le Velay, si remarquable surtout aux environs du Puy, et l'Auvergne, est d'un attrait immense sous le simple rapport des curiosités naturelles.

§ 190. Il s'est fait quelquefois aussi au milieu des masses basaltiques, ou des *roches trappéennes* (§ 312 *k*), qui leur ressemblent, des excavations dont quelques-unes offrent des grottes, ou des ponts naturels, fort remarquables. Il en existe dans le basalte proprement dit, comme on en voit quelques-unes en Vivarais, et l'on en cite une assez renommée sur les bords du Rhin, entre Trèves et Coblentz, près de Bertrich-Baden, dont les colonnes sont formées de pièces arrondies, qui les ont fait comparer à des piles de fromages,

d'où le nom de *Grotte des Fromages* (die Kasegrotte) usité dans le pays (fig. 140). La plus célèbre de toutes est la grotte dite de Fingal,



Fig. 140. *Grotte des Fromages à Bertrich-Baden.*

dans l'île de Staffa, l'une des Hébrides (fig. 141), qui est formée au milieu des *trapps*, divisés alors en colonnes prismatiques de la plus



Fig. 141. *Grotte de Fingal, à l'île de Staffa.*

grande régularité, et dans laquelle la mer pénètre et vient battre continuellement.

§ 191. **Formation trachytique.** — Il existe encore à la surface du globe une autre formation d'une étendue immense, qui constitue en Auvergne le Puy-de-Dôme, le Mont-Dore, le Cantal, ainsi que le Mézenc et le Mégal sur la limite du Velay et du Vivarais; on la retrouve à la droite du Rhin dans le Siebengebirge; elle forme des groupes immenses en Hongrie, en Transylvanie, au Caucase, dans la Grèce, où elle se prolonge, par les îles de Milo et d'Argentiera, jusqu'au centre actif de Santorin, § 47; on la retrouve aux îles de Lipari, dans la Campanie, dans les monts Euganéens, dans les Açores, les îles Canaries, l'Amérique équatoriale, le centre de l'Asie, plusieurs des îles adjacentes, jusqu'au Kamtschatka.

Cette formation ne présente pas seulement des buttes coniques isolées, des coulées en bandes étroites, des nappes éparpillées à la surface du globe; mais de puissantes montagnes, le plus souvent réunies en groupes très-étendus, qui forment des masses très-élevées, ordinairement les plus hautes de la contrée, et couvertes d'aspérités; leurs flancs sont déchirés par des vallées et des gorges profondes, à pentes escarpées et avec tous les accidents des hautes chaînes. Toutes ces circonstances font éminemment contraster la formation trachytique avec les dépôts ignés que nous avons vus jusqu'ici, et permettent de la distinguer dès le premier moment, quoique une étude approfondie puisse ensuite y faire reconnaître diverses relations avec les dépôts de basalte ou de lave.

§ 192. Les roches qui constituent la formation trachytique sont extrêmement variées, chacune des montagnes agglomérées en offrant pour ainsi dire une espèce particulière. La plupart, comme le nom l'indique, ont quelque chose d'âpre au toucher, parce que le plus souvent elles sont finement poreuses, quelquefois caverneuses, scoriacées, ponceuses; cependant il en est qui sont tout à fait compactes, et qui présentent la structure porphyrique (§ 312 *n*), fréquemment avec des teintes grises, rouges, brunes et noires, sur lesquelles se détachent des cristaux blancs d'albite et quelquefois d'orthose. Il en est qui sont plus ou moins terreuses, ordinairement de teintes claires, et qu'on désigne plus particulièrement sous le nom de *Domite*, parce que le Puy-de-Dôme en est composé. La base de toutes ces roches, inattaquable par les acides, est albitique, formée d'une multitude de cristaux microscopiques entremêlés, dont l'ensemble constitue une masse plus ou moins compacte. Les substances disséminées sont l'albite en cristaux plus ou moins volumineux, quelquefois l'orthose ou l'oligoclase, les micas noirs, l'amphibole hornblende, rarement le pyroxène augite. Le quarz en cristaux, et la calcédoine en petits rognons, s'y trouvent aussi

quelquefois, et surtout dans certaine espèce très-caverneuse qu'on n'a rencontrée jusqu'ici qu'en Hongrie, dont la pâte renferme aussi beaucoup de petites boules striées de sphérolithe.

On nomme *phonolithes* des roches assez analogues à certaines variétés de trachytes, mais qui en diffèrent en ce qu'elles renferment une partie zéolitique attaquable par les acides, et laissant un résidu feldspathique. Ces roches présentent le plus souvent des matières compactes, grisâtres ou verdâtres, quelquefois porphyroïdes, mais dans lesquelles les substances disséminées sont rares. Elles se divisent fréquemment en plaques ou en feuillets plus ou moins épais, et dans certains cas toute la masse est partagée en colonnes prismatiques le plus souvent divergentes ou contournées. On a quelquefois confondu les phonolithes avec certaines variétés porphyroïdes de trachyte, qui présentent à peu près les mêmes accidents, mais non les mêmes caractères de solubilité.

Il existe aussi dans les terrains trachytiques des dépôts plus ou moins considérables d'*obsidienne* et de *perlite* avec tous leurs passages à la ponce (*Minéralogie*). Leur abondance et leurs caractères varient beaucoup suivant les diverses localités; elles sont prépondérantes dans certaines contrées, tandis que dans d'autres il ne s'en trouve pas même de traces.

§ 193. Souvent, au milieu de montagnes formées de matières homogènes et purement cristallines, s'élèvent des buttes qui se trouvent uniquement composées de blocs ou de fragments scoriacés, liés fortement entre eux par des pâtes poreuses, compactes ou vitreuses. Ces matières fragmentaires, nommées jadis *conglomérats trachytiques*, sont quelquefois extrêmement abondantes, comme en Hongrie et dans le Cantal, et les masses de trachytes sont fréquemment noyées au milieu d'elles. Souvent aussi on trouve des nappes trachytiques séparées les unes des autres, comme au Cantal et aux monts Dore, par des débris analogues, qui se rencontrent à toutes les hauteurs et souvent jusque sur les sommets les plus élevés.

Outre ces dépôts fragmentaires qu'on observe au centre même des groupes, il s'en trouve d'autres à l'extérieur, qui sont quelquefois immenses, tantôt composés de matières ponceuses, soit en fragments distincts, soit en poussière fine et souvent altérée, tantôt offrant des poudingues où toutes les variétés de trachytes se rencontrent en fragments ou en cailloux roulés, quelquefois libres, le plus souvent agglutinés par des matières terreuses. Ces nouveaux dépôts semblent annoncer un remaniement des roches par les eaux, et d'autant mieux qu'on y trouve quelquefois des débris organiques divers, comme dans la Campanie et la Hongrie.

§ 194. Ces différents caractères ne peuvent laisser aucun doute sur l'origine des terrains trachytiques ; certaines variétés des roches qu'ils renferment ressemblent complétement aux trachytes de Santorin, de Ternate, des coulées de Java (§ 74) ; les matières vitreuses rappellent celles du pic de Ténériffe (§ 68), des volcans trachytiques des Andes, etc. L'abondance des matières ponceuses autour de certains groupes, quelquefois à de très-grandes distances, et renfermant des coquilles marines et autres débris organiques, rappelle inévitablement les éruptions de ponces si souvent remarquées dans les volcans sous-marins, aussi bien que celles des îles de Saint-Georges (§ 39), de Sumbawa, etc.

Dans les vallées et les escarpements que présentent toutes ces buttes accolées les unes aux autres, on rencontre fréquemment des filons également trachytiques qui expliquent suffisamment comment toutes ces matières ont pu parvenir au jour. Quelques-uns présentent de grands affleurements que l'on peut suivre à la surface du sol ; d'autres, après s'être élevés verticalement, se terminent par une pointe effilée dans la roche même qu'ils parcourent. Un assez grand nombre aboutissent à des nappes plus ou moins étendues, à des buttes isolées, à des amas particuliers au milieu de quelque autre dépôt; c'est ainsi que, dans le Cantal, certains filons qui traversent les dépôts d'agrégation s'épanouissent en nappes au-dessus d'eux, ou en amas dans leur intérieur, et que des filons de phonolithes aboutissent à des buttes isolées de ces matières, souvent composées de prismes comme les buttes basaltiques.

Ces filons expliquent évidemment l'origine des nappes de trachytes, qui se présentent si souvent dans les groupes de cette formation, et sans qu'on puisse y reconnaître aucun point d'éruption. L'uniformité d'épaisseur de ces nappes, leur nature souvent cristalline et porphyrique, qui annoncent un certain degré de fluidité et un refroidissement lent, indiquent qu'elles ont dû se former horizontalement (§ 67 à 69) ; mais comme on les trouve fréquemment inclinées, il est évident qu'elles ont dû subir après coup des relèvements plus ou moins considérables : c'est ce que tout indique dans les monts Dore, dans le Cantal et au Mézenc, où l'on reconnaît les traces des soulèvements généraux, et celles des soulèvements partiels qui ont affecté quelques groupes.

§ 195. **Détails sur quelques groupes trachytiques.** — Le terrain trachytique est caractérisé dans le nord de l'Auvergne, près de Clermont, par la *domite*, qui constitue le *Puy-de-Dôme* et plusieurs buttes voisines. La matière est blanchâtre, jaunâtre, grisâtre ou rougeâtre, en général assez solide, quoique poreuse, légère et

quelquefois terreuse. Elle est quelquefois pénétrée de chlore, ce qui rappelle les gaz que renferment les laves modernes à leur sortie des volcans (§ 80). Rien n'indique ici comment ces dômes ont été produits; mais comme la même matière se trouve en filons dans les monts Dore et le Cantal, où elle vient quelquefois aboutir à de légères buttes, il est à présumer qu'elle s'est fait jour en divers points sur la direction d'une fente, et s'est amoncelée sur l'ouverture même qui lui donnait passage.

Dans les monts Dore et dans le Cantal, le terrain est beaucoup plus compliqué; le trachyte y présente un grand nombre d'espèces : granitoïde, amphibolique, porphyrique, avec toutes les modifications possibles dans la quantité et la disposition des parties, et par le plus ou moins de porosité : elles forment tantôt des montagnes isolées, tantôt des nappes particulières et même des espèces de coulées. Les déjections ponceuses, scoriacées, pulvérulentes y sont très-abondantes. Les matières vitreuses s'y présentent quelquefois, mais en petite quantité, soit en espèce d'amas en relation avec des ponces, comme dans les monts Dore; soit en filons, comme dans le Cantal. Les phonolithes semblent être les matières les plus récentes du terrain; elles reposent jusque sur les dépôts pulvérulents de ponces remaniés par les eaux (§ 193) et les traversent même sous forme de filons. Aux monts Dore, elles se trouvent à l'extérieur du groupe, où elles se rattachent à un soulèvement particulier; au Cantal, elles se montrent en filons assez nombreux dans toutes les parties de ces montagnes, ou bien en buttes dans le cratère de soulèvement qui se trouve au centre.

Le Mézenc et le Mégal sont remarquables, d'un côté, par l'absence des matières ponceuses ou scorifiées et des dépôts sédimentaires; de l'autre, par la liaison intime des trachytes, le plus souvent compactes ou porphyriques, avec les phonolithes qui s'y mélangent de toutes les manières. Ces dernières sont cependant en général les roches dominantes, celles qui donnent à la contrée sa physionomie particulière, assemblage de pics et de plateaux.

§ 196. On voit que les groupes trachytiques sont extrêmement variables quant aux roches qu'ils présentent. En France, les roches vitreuses sont peu développées; au contraire, on reconnaît qu'elles sont très-abondantes dans certaines parties des groupes de la Hongrie, dans les îles de Lipari, aux Canaries, dans certaines parties du Mexique. Le caractère le plus général est l'indépendance des diverses variétés, qui le plus souvent constituent chacune une butte à part, ou qui forment des nappes particulières provenant probablement de quelques filons. Les phonolithes véritables, attaquables

par les acides, sont des roches assez rares qui semblent avoir préludé aux basaltes qui, comme elles, sont indépendants des vrais trachytes, et se trouvent rejetés à l'extérieur quand ils sont en relation avec les groupes trachytiques. Il y a en Allemagne et en Écosse des phonolithes qui sont liées au basalte sans indice de terrain trachytique proprement dit.

Certains volcans actifs sont ouverts dans le trachyte, comme au Mexique, qui offre des dômes trachytiques crevés à leurs sommets et qui ont rejeté des obsidiennes; comme aussi à Ténériffe, à Java, à Sumbawa, etc. Mais en Europe il n'existe aucune trace de cet ordre de choses : seulement au pied des dômes de Clermont, nous trouvons quelques explosions de scories à travers le trachyte, et en même temps nous remarquons que les cônes volcaniques se trouvent sur la grande ligne de dislocation suivie par les trachytes aussi bien que par les basaltes, et qui avait été préparée par d'autre grand événements (§ 347).

§ 197. **Diorite, roches trappéennes, amygdaloïdes, etc.** — Rien de plus analogue au basalte que certaines roches noires dont les unes, d'après les nombreux passages qu'elles offrent à des dépôts où les éléments sont distincts, doivent être des mélanges d'albite et d'amphibole, et dont les autres sont de nature inconnue ou du moins assez douteuse. Les premières sont celles qu'on a désignées en France sous le nom de *diorite* et qu'on connaît en Allemagne sous le nom de *grunstein*. Les autres sont connues depuis longtemps sous la dénomination de *trapp*, qu'on admet encore, vu l'impossibilité où l'on est de se prononcer définitivement sur leur nature (§ 312 *k*). Ces roches ont des relations, tant par leurs positions dans certaines localités que par leur passage minéralogique, avec certaines matières désignées sous le nom d'*amygdaloïdes*, à cause des noyaux de diverses substances qu'elles renferment, et qui sont connues en Angleterre sous le nom de *toadstone* et de *winstone*, dont souvent la nature n'est pas mieux connue.

On a longtemps attribué à ces roches une origine aqueuse; d'un côté, parce qu'on ne trouve jamais au milieu d'elles, ni dans leur voisinage, aucun de ces accidents auxquels on s'est particulièrement attaché pour en conclure une origine ignée, c'est-à-dire ces scorifications de la roche, ces amas de scories que nous avons vus auprès des basaltes et des trachytes; de l'autre, parce qu'elles se lient intimement avec beaucoup de roches qui n'offrent pas plus les caractères ignés; enfin, parce qu'on les a trouvées plus tard en couches distinctes, souvent plusieurs fois répétées, au milieu même des dépôts de sédiment, d'où l'on a conclu qu'elles avaient la même

origine. Ces conclusions, cependant, doivent être aujourd'hui complétement rejetées, et les recherches du docteur Macculloch, de M. Sedgwich et de M. Conybeare, en Angleterre, en Écosse et dans les îles voisines, où les falaises présentent des facilités particulières pour ce genre d'observations, ont offert des faits qui ne peuvent maintenant laisser aucun doute.

§ 198. Malgré l'absence des matières scoriacées, ces roches présentent toutes les allures des dépôts basaltiques; elles se trouvent en buttes isolées, ou en plateaux plus ou moins étendus; leur masse divisée en colonnes prismatiques offre tous les caractères des colonnades de basalte, et des pavés des Géants. D'un autre côté, elles se trouvent fréquemment en filons qui se terminent aussi dans le haut en une masse effilée, comme *a* (fig. 142), ou bien envoient dans leur trajet de petites ramifications *b* dans les roches qu'elles traversent, de petits lopins *c*, tantôt isolés, tantôt communiquant avec la masse principale par une traînée mince. Les roches encaissantes sont quelquefois criblées de ces petites ramifications, et jusque dans les fissures les plus fines. Ces circonstances démontrent évidemment que ces filons ne sont pas des fentes remplies par le haut, et qu'on ne peut les considérer que comme des injections poussées de l'intérieur à l'extérieur avec assez de force pour pénétrer dans les plus petites fissures, pour détacher et entraîner des morceaux de la roche, qu'on trouve aussi quelquefois dans leur épaisseur comme en *d*.

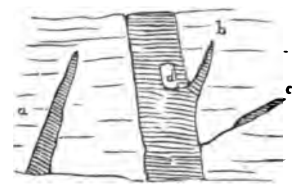
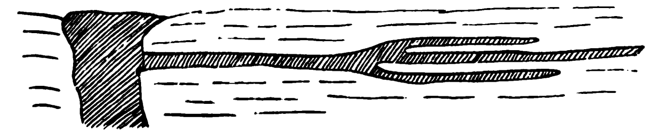


Fig. 142. *Filons de trapp, Irlande.*

Toutes ces circonstances sont exactement celles que nous avons observées dans le basalte (§ 184). Il en est de même des couches en apparence réglées qu'on remarque entre des assises sédimentaires: car l'observation montre encore qu'elles ne sont que des ramifications de filons: c'est ce qu'on voit clairement à Trotternish, île de Sky fig. 143), où un gros filon de trapp communique avec une couche


Fig. 143 *Injection de trapp dans les roches sédimentaires de l'île de Sky.*

de matière semblable qui, elle-même, se divise plus loin en trois branches, dont deux se terminent en coin. Il est évident, dès lors, que l'intercalation des roches trappéennes dans les matières arénacées, est le résultat d'une injection entre les couches sédimentaires, comme dans le cas des basaltes de Villeneuve-de-Berg (fig. 136). Il n'y a pas là plus de difficultés que pour l'injection dans une fente oblique qui couperait toutes les couches, comme on le voit dans une foule de localités, puisqu'il faut bien, dans tous les cas, que la partie supérieure soit soutenue par la force qui pousse la matière en fusion. Nous devons remarquer, pour compléter l'analogie, que les plateaux trappéens communiquent, comme les plateaux basaltiques (fig. 138) ou même les laves ordinaires (fig. 33 et 34, § 71), avec des filons qui traversent tout le terrain inférieur, et qui ont évidemment amené la matière au jour.

§ 199. Maintenant, si ces premières analogies avec les matières d'origine ignée ne suffisent pas, en voici d'autres qui viennent les compléter. Les filons de trapp ont aussi attaqué les roches qu'ils ont traversées; ici ce sont des matières charbonneuses, qui ont perdu leur bitume, sont réduites en fraisil, en coke, au contact du filon, comme on le voit dans plusieurs points du Staffordshire; là, des calcaires sont devenus cristallins, saccharoïdes, jusqu'à quelque distance du contact comme quand ils sont fondus dans l'expérience de Hall. Les calcaires se remplissent même de grenat, de pyroxène d'amphibole, d'analcime qu'ils ne renferment pas ailleurs, comme à Plasnewidd, dans l'île d'Anglesey, à l'île de Thirey, etc. Les argiles schisteuses sont converties en jaspes divers; les grès passent à des matières analogues, comme en plusieurs points de l'Écosse, et quelquefois ils sont convertis en quarz compacte, comme à l'île de Sky. La matière même du filon, en traversant diverses roches, paraît en avoir subi l'influence; et l'un des faits les plus intéressants est la conversion d'un filon de trapp en serpentine dans les portions de sa masse qui se trouvent encaissées dans les calcaires, comme on le voit à Clunie, dans le Perthshire.

On observe des faits du même genre auprès des diorites porphyroïdes désignées sous le nom d'*ophite* dans les Pyrénées. En effet, les calcaires soulevés par ces roches deviennent cristallins et dolomitiques dans leur voisinage; ils semblent même avoir été convertis en gypse à leur contact, sans doute par l'action des matières gazeuses qui se dégageaient en même temps, car partout le gypse accompagne immédiatement les ophites, se trouve même entremêlé avec ces roches, et ne se présente nulle part ailleurs le long de cette chaîne de montagnes.

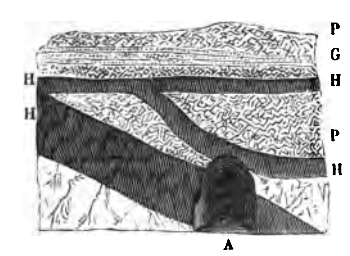
§ 200. **Serpentine et diallage, porphyres divers.** — Les roches magnésiennes nommées serpentines (voy. *Minéralogie*), dans lesquelles nous venons de voir un filon se transformer en traversant un dépôt calcaire, accompagnent assez souvent les trapps et les diorites; elles forment aussi très-fréquemment à elles seules des filons, autour desquels on remarque toutes les altérations de roche que nous venons d'indiquer. Ces faits se montrent surtout dans la Ligurie, où les serpentines et les euphotides (mélange de diallage avec l'albite ou le labradorite) sont injectées de toutes les manières dans des dépôts calcaires qui appartiennent à la période jurassique. Tantôt elles y forment des filons, et tantôt elles présentent des couches puissantes; souvent elles offrent des brèches de toute espèce qui constituent les marbres nommés vert antique, vert d'Égypte, vert de mer, etc. Or, les calcaires entremêlés avec ces roches sont tous à l'état saccharoïde, et nous offrent les plus beaux marbres statuaires, les marbres brèches les plus éclatants; cependant, en les suivant avec soin, on voit qu'ils se rattachent entièrement aux calcaires compactes, et plus ou moins terreux, des dépôts environnants dont ils sont évidemment la continuité. Les argiles schisteuses et les grès qui alternent avec ces derniers se trouvent convertis dans les autres en jaspes de diverses variétés.

§ 201. L'apparition des roches pyroxéniques, des mélaphyres et des autres porphyres qui s'y rattachent, a produit des circonstances du même genre, que M. de Buch a signalées depuis longtemps dans le Tyrol et dans la Lombardie supérieure. On les reconnaît encore tout le long des Alpes, et elles se représentent sur la même direction dans la Provence au milieu des montagnes de l'Esterel. Tout est bouleversé dans le voisinage de ces roches, qui ont soulevé autour d'elles les dépôts calcaires de diverses formations, les ont disloqués et poussés dans les positions les plus anormales. Partout au contact de ces porphyres, et jusqu'à des distances considérables, les calcaires sont transformés en dolomie, et de telle manière que les mêmes dépôts sont de calcaire simple dans une de leurs parties, et de dolomie crevassée dans celles qui se rapprochent des roches de cristallisation (fig. 144). Ce qu'il y a de plus remarquable, c'est que, dans le peu de débris organiques qu'on a rencontrés çà et là dans des calcaires modifiés, le test même des coquilles, ou les madrépores se trouvent être chargés de magnésie : cela démontre sans réplique que la présence de cette substance est due à une ac-


Fig. 144. *Dolomisation des calcaires.*

tion postérieure à la formation du dépôt, car il n'existe aucune coquille, aucun madrépore qui naturellement renferme de la magnésie, pas plus à l'état vivant qu'à l'état fossile, partout où le dépôt n'a subi aucune modification.

§ 202. Les porphyres feldspathiques (§ 312 *n*) présentent souvent aussi des caractères qui ne peuvent laisser de doute sur leur origine ignée. Non-seulement on les trouve en filons au milieu de toutes les roches, mais encore ils se conduisent exactement comme les trachytes (§ 193) en passant à travers des roches fissurées dont ils empâtent les fragments pour former des conglomérats, ils se lient souvent ainsi de la manière la plus intime aux dépôts arénacés qu'ils durcissent dans leur voisinage : c'est ce qu'on voit clairement dans les montagnes de l'Esterel, dans les Vosges, dans un grand nombre de localités en Allemagne, dans l'île de Sky en Écosse, etc.; et comme, pour que rien ne manque à la comparaison, on reconnaît encore dans le voisinage de ces porphyres des matières vitreuses que nous avons décrites sous le nom de *rétinite* (*Minéralogie*), qui passent à des matières lithoïdes diverses, comme les obsidiennes, sans toutefois offrir de passage à la ponce (§ 74). Dans le bassin houiller de l'Arroux, au sud d'Autun, de tels porphyres ont pénétré dans le grès houiller ou dans la houille même (fig. 145), et dans le voisinage le combustible est devenu sec, brillant et caverneux; le grès s'est durci, et les parties feldspathiques qu'il renferme ont été frittées. La même chose est arrivée en plusieurs lieux, et c'est ainsi qu'à Schœnfeld, en Saxe, les dépôts charbonneux sont passés à l'état d'anthracite par l'apparition des porphyres.



A. galerie d'exploitation. — G. grès houiller. — H. houille. — P. porphyre.

Fig. 145. *Dépôt houiller traversé par des porphyres.*

§ 203. **Roches granitiques.** — Il ne peut y avoir de doute sur la nature ignée des roches précédentes, d'après leur manière d'être injectées dans toutes sortes de dépôts, et leurs actions sur les matières qu'elles ont traversées ou soulevées. Or il en est de même des granites proprement dits, des syénites qui leur ressemblent, de toutes les roches enfin qui s'y rattachent. En effet, il résulte d'une grande masse d'observations, recueillies en Angleterre par le docteur Macculloch, vérifiées, complétées depuis par beaucoup d'autres géologues, que les granites, qui sont des roches massives et par cela

même déjà distinctes des dépôts aqueux ordinairement stratifiés (§ 116), se conduisent exactement dans leur apparition comme les trapps, les diorites et les porphyres.

Dans la vallée de Glen-Titt, en Écosse, le granite se trouve injecté dans des dépôts calcaires qui alternent avec les schistes argileux (fig. 146), où il pousse quelquefois des lopins séparés, *a*. Ailleurs, ce sont des filons verticaux qui traversent la roche (fig. 147), tantôt en entier, tantôt en se terminant par des masses effilées, comme les diorites et les basaltes (§ 184 et 197), ce qui annonce aussi que la matière est venue de bas en haut, et qu'elle a dû être poussée avec une grande force. Or, ce n'est pas seulement dans une localité particulière que de tels faits se présentent, il en a été maintenant observé dans toutes les parties du monde : dans les Pyrénées, dans les Alpes de la France, de la Savoie et de la Suisse, en Norvége, sur tous les points de l'Angleterre, dans l'Amérique septentrionale, au cap de Bonne-Espérance, etc.

Fig. 146.



Fig. 147.



Injection du granite dans les roches diverses.

§ 204. La fluidité pâteuse des granites est encore indiquée par la manière dont ces roches ont enveloppé les débris (*b*, fig. 146), des terrains qu'elles ont traversés. En Bretagne, les granites, qu'on a employés à Paris pour les trottoirs, les bornes, etc., ont enveloppé des fragments anguleux de schistes, quelquefois assez nombreux pour donner à la masse l'apparence d'une brèche. Au Harz, cette roche a empâté des fragments de grauwackes schisteuses qui renferment des débris organiques. En Écosse, près de Landside, où le granite paraît avoir traversé un terrain calcaire dont il renferme des

blocs, il s'est fait une brèche formée de fragments calcaires liés entre eux par une pâte granitique; fait analogue à ce que nous avons cité à l'égard des trachytes et des porphyres (§ 191 et 202).

§ 205. Quelquefois il y a des portions assez étendues des dépôts sédimentaires qui ont été enveloppées par le granite. Ainsi, dans les houillères de La Pléau (Corrèze), au sud-est d'Ussel (§ 245), une portion de terrain houiller a été enveloppée par les granites porphyroïdes de la contrée, qui se trouvent placés dès lors au-dessus et au-dessous du dépôt sédimentaire (fig. 148).

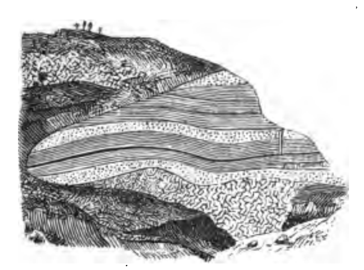


Fig. 148. *Dépôt houiller enclavé dans le granite.*



Fig. 149. *Superposition du granite aux couches sédimentaires.*

L'épanchement des granites sur les terrains qu'ils ont traversés est encore une nouvelle preuve de leur fusion. Or, on voit ces roches superposées dans un grand nombre de lieux à tous les dépôts de sédiment ; dans les Alpes on les voit épanchées sur les terrains jurassiques, et l'on peut, en divers points, toucher à la fois la roche cristalline et le dépôt sédimentaire (fig. 149). Le granite repose sur la craie à Weinhalle, en Saxe, et sur des argiles assez modernes, en Sibérie, où même il est poreux.

§ 206. L'action des roches granitiques sur les matières qu'elles ont traversées est encore la même que celle des roches précédentes. Les calcaires compactes, oolitiques, terreux, sont convertis en calcaires saccharoïdes, où les débris organiques ont le plus souvent disparu ; ils ont pris des couleurs vives de toute espèce : vert, rouge, noir, etc., se sont remplis, au contact, de mica, de grenat, d'amphibole, et de diverses autres substances cristallines. Souvent ils ont été convertis en dolomies, qui sont très-abondantes autour des granites dans les Alpes et les Pyrénées, et quelquefois en gypse, comme le prouvent les masses de cette substance dont on voit les affleurements dans certains cirques des Alpes, tandis que sur leur prolon-

gement dans les vallées voisines on ne voit plus que des calcaires purs et simples. Les argiles et diverses matières arénacées se sont converties en jaspes, se sont remplies des diverses substances que nous venons de citer, et ont pris enfin les caractères des schistes micacés, des schistes talqueux et des gneiss; les matières charbonneuses, qui se rapportent à cet âge, ont pris les caractères de l'anthracite, comme on le voit surtout dans les Alpes, et les grès sont devenus des couches de quarz grenu. Il arrive quelquefois que les grès schisteux modifiés conservent encore la structure arénacée, quoique les matières aient souvent pris beaucoup de solidité; les micaschistes mêmes auxquels ils passent renferment encore çà et là des strates minces de quarz sableux, interposées entre les lames de mica, qui semblent annoncer les restes des anciens grès modifiés : c'est ce qui a été observé depuis longtemps par Playfair dans les monts Grampians en Écosse, et ce que rappelle aussi le peu de solidité qu'offrent par places les schistes micacés des montagnes des Maures, entre Toulon et Antibes, aussi bien que ceux qu'on désigne au Brésil sous le nom d'*itacolumite*, qui passent au grès par toutes les nuances.

Les roches granitiques, qui se rapportent à différents âges, comme nous le verrons plus tard (§ 314), sont très-abondantes à la surface du globe, formant tantôt des chaînes de montagnes élevées, et tantôt des collines arrondies, désagrégées à la surface, qui couvrent des étendues considérables. En France, nous voyons ces roches sur une grande partie de la Bretagne, dans le Limousin, l'Auvergne, le Gévaudan, dans les Pyrénées, dans le Dauphiné, où elles se lient avec celles des Alpes de la Savoie, au centre de la Bourgogne, dans les Vosges, d'où elles se prolongent de l'autre côté du Rhin dans la forêt Noire, § 323.

§ 207. **Gîtes métallifères, filons, amas.** — La dolomisation et la sulfatisation des calcaires, la présence de diverses substances dans les roches adjacentes, ne sont pas les seuls faits qui se rattachent à la sortie des roches ignées du sein de la terre. Il arrive aussi (fig. 150), qu'au contact de la nouvelle roche et des anciennes, les dépôts se remplissent de divers minerais métalliques, soit disséminés, soit injectés dans les fissures et entre les couches, ou enfin rassemblés en petits amas quelquefois liés entre eux par de minces filets : c'est ce que M. Dufrénoy a fait remarquer à l'égard des minerais de fer qui existent dans les

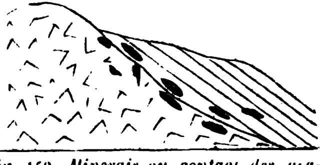


Fig 150. *Minerais au contact des granites et des calcaires.*

Pyrénées, et qu'on trouve placés soit dans les calcaires, soit entre ces dépôts sédimentaires et le granite qui en a soulevé la masse consolidée. C'est ce qui existe encore dans un grand nombre de localités pour des minerais de toute espèce qu'on trouve à la jonction des matières cristallines et des dépôts de sédiment divers, tels que les arkoses de divers âges qui entourent le plateau granitique du centre de la France, ou bien les calcaires qui les recouvrent; on en retrouve de même à la jonction des granites ou des porphyres avec les gneiss et les schistes argileux qu'ils ont soulevés, ou pénétrés, dans un grand nombre de lieux. Ce sont là évidemment des gîtes de minerais en relation avec les actions ignées.

§ 208. Quant aux minerais en filons, il est d'abord à remarquer qu'on n'a jamais eu l'occasion de les poursuivre assez loin dans la profondeur pour savoir s'ils s'y terminent en coin, et par conséquent s'ils remplissent des fentes ouvertes par le haut, tandis qu'on en a vu se terminer en masses effilées dans la partie supérieure, comme à Joachimstal en Bohême, et dans un grand nombre d'autres lieux. Cette dernière circonstance conduit déjà à penser que les filons métallifères ont été produits, aussi bien que les filons pierreux précédents (§ 184 à 205), par une injection de l'intérieur à l'extérieur. Mais il y a plus, les deux sortes de filons ont la plus grande liaison entre eux : ainsi, à Pongibaud, les mêmes filons sont tantôt granitiques et tantôt métallifères; dans beaucoup d'autres lieux, des filons métallifères accompagnent des filons porphyriques ou même basaltiques, comme en Bohême, et les deux matières se pénétrant mutuellement, c'est tantôt l'une, tantôt l'autre qui prend le dessus. D'un autre côté, on trouve très-fréquemment dans diverses localités des filons pierreux et des filons métallifères qui tantôt marchent parallèlement les uns aux autres, tantôt se croisent de différentes manières, se rejetant les uns les autres de côté, et se produisant ainsi mutuellement des failles (fig. 151). Tantôt ce sont des filons pierreux qui dérangent les filons métalliques; tantôt, au contraire, ce sont ces derniers qui déroutent les autres; en tout ils se conduisent exactement de la même manière, et il devient impossible de penser qu'ils n'aient pas la même origine. Remarquons aussi qu'en général les filons suivent

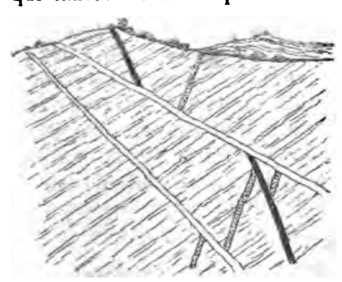


Fig. 151. *Failles de filon*

les grandes lignes de dislocation de la croûte terrestre, ainsi, en Auvergne, les principaux filons suivent la grande ligne de dislocation par les fentes de laquelle la chaîne des Puys s'est fait jour (§ 347); dans les Vosges, ils sont parallèles à la grande faille qui termine cette chaîne de montagnes (§ 332 1°, 342); partout, enfin, l'on reconnaît que la présence de ces dépôts coïncide avec les lignes diverses des soulèvements qui ont agité le globe, ce qui fournit un puissant secours dans leur recherche.

On trouve dans les filons métallifères l'influence de ceux qui les traversent ou les longent, et qui viennent y jeter, jusqu'à une certaine distance, des matières qu'on n'y observait pas auparavant. L'influence de la roche traversée se fait aussi bien sentir sur les filons métallifères que sur ceux de trapp (§ 199); et c'est un fait connu depuis longtemps des mineurs qu'un filon pauvre, dans une couche déterminée, augmente tout à coup de richesse en pénétrant dans une autre, ou réciproquement; de là les succès subits et les revers imprévus des exploitations.

§ 209. Les amas métallifères n'étant en général qu'une accumulation de petits filons dirigés dans tous les sens (fig. 152), ou une dissémination abondante dans une des matières pierreuses que nous devons attribuer à la voie ignée, il est clair que ces dépôts sont produits comme ceux dont nous venons de parler. Les principaux nous présentent des minerais d'étain, de cuivre pyriteux, de fer magnétique, et ont pour masse principale des granites, des porphyres, des roches magnésiennes diverses, dans lesquels se trouvent les minerais. L'amas métallifère de Zinwald en Bohême offre un granite particulier encaissé dans un porphyre; celui d'Altemberg, en Saxe, est une masse porphyrique encaissée dans du gneiss. Le célèbre amas de fer magnétique du Taberg, en Suède, est une masse de diorite enfermée dans la même roche; celui de Cogne, en Piémont, offre une serpentine enclavée dans du schiste micacé calcarifère. Ces amas sont souvent peu profonds : aussi est-il arrivé quelquefois que, faisant peu d'attention à la roche encaissante pour suivre des veines qui s'y introduisaient accidentellement, on a été sur le point d'abandonner l'exploitation dont on avait dépassé la partie productive; c'est ce qui est arrivé à Joachimstal en Bohême.

Fig. 152. *Amas métallifères.*

Les gîtes métallifères qui paraissent être en couches réglées ne sont souvent que des filons qui ont suivi la stratification du terrain, comme nous l'avons vu pour les trapps (§ 198); ou bien ce sont,

comme ci-dessus, des dépôts formés au contact des couches sédimentaires et des matières en fusion qui les ont soulevées.

§ 210. Nous devons nous borner ici à une indication générale, et renvoyer pour les détails au travail de M. Fournet, *Études des dépôts métallifères*. Mais il est nécessaire d'ajouter un mot pour ne pas laisser confondre les amas et les filons dont nous venons de parler, avec certains dépôts de minerais de fer oolitique qui se trouvent dans les terrains de sédiments. Parmi ceux-ci, les uns forment des couches plus ou moins étendues au milieu des formations calcaires, les autres ont rempli des fentes élargies dans le haut et peu profondes, qui communiquent parfois à des cavernes (fig. 153); ce sont alors des faits d'un ordre tout différent de ceux que nous avons décrits, et dont nous aurons plus tard l'occasion de parler.

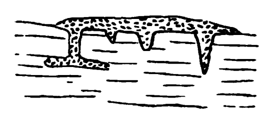


Fig. 153. *Remplissage des fentes par l'extérieur.*

§ 211. **Conclusion générale; métamorphisme.** — De tous les faits que nous venons de citer, et dont nous aurions pu augmenter prodigieusement le récit par les détails que présentent les nombreuses localités où l'on peut en observer de semblables, il faut évidemment conclure que les roches cristallines, qui toutes sont formées par des silicates extrêmement variés et mélangés entre eux, ont été produites par la voie ignée; qu'à différentes époques elles ont disloqué, soulevé, bouleversé tous les dépôts de sédiment, en ont modifié la masse de toutes les manières, et que c'est à ces grands phénomènes que sont dus et tout le désordre apparent qu'on observe à la surface du globe, et tous les changements successifs dont on aperçoit les traces à chaque pas.

Lorsqu'on a vu (§ 187 à 206), les calcaires terreux ou compactes devenir cristallins à l'approche de ces diverses sortes de roches, se remplir de substances diverses qu'ils ne contiennent plus à une certaine distance, se charger de magnésie en se fendillant de toutes parts, et se changer en dolomie, comme ailleurs ils se changent en gypses; lorsque les argiles schisteuses, les matières arénacées sont converties en jaspes divers, se chargent de mica, d'amphibole, et prennent les caractères du gneiss, des schistes micacés et talqueux; lorsque enfin les grès sont devenus des bancs de quarz grenu, peut-on trouver étonnant que la plupart des géologues actuels adoptent l'idée de changements complets opérés dans un grand nombre de dépôts de sédiment, et qu'on s'appuie sur ce *métamorphisme*, aperçu depuis longtemps par Hutton, Playfair et le docteur Macculloch, pour expliquer une multitude de faits que

nous présentent les dépôts anciennement désignés sous les noms de terrains primitifs et de terrains de transition? On peut être conduit à supposer quelquefois un peu d'exagération, tant les faits paraissent extraordinaires; mais il faudrait se refuser à l'évidence pour nier qu'il y a des calcaires saccharoïdes, des dolomies, des roches schisteuses plus ou moins cristallisées qui résultent d'un changement opéré sur des calcaires terreux ou compactes, sur des argiles, des sables, etc., formés par sédiment; n'est-il donc pas naturel de penser que telle en a toujours été l'origine ?

Ces idées, devenues plus frappantes aujourd'hui, parce qu'elles sont exprimées par un mot propre, ne sont cependant pas absolument nouvelles; tous les ouvrages de géologie en sont réellement remplis, et les faits n'y sont pas moins remarquables, quoique exposés en d'autres termes. Il n'y a pas une description de contrée, en remontant même au temps de Saussure, dont les travaux sont encore si remarquables par la fidélité des détails, où l'on ne cite expressément les passages nombreux de divers dépôts arénacés aux roches de cristallisation, des grauwackes schisteuses aux schistes talqueux, aux schistes micacés, et de ceux-ci au gneiss, ou bien le passage des grès de diverses sortes aux granites et aux porphyres sur lesquels ils s'appuient, etc. N'est-ce pas là reconnaître positivement le fait des modifications que nous nommons aujourd'hui *métamorphisme*, et auquel seulement le temps a permis de joindre plus de détails et plus de précision?

§ 212. Il est certain qu'en partant par exemple des grauwackes schisteuses, et se dirigeant vers quelque montagne, quelque îlot de cristallisation, on voit ces matières prendre des caractères plus cristallins, et quelquefois, sans perdre les débris organiques qu'elles renferment, se remplir de substances minérales nouvelles; c'est ainsi qu'en Bretagne ces schistes se remplissent de macles, quelquefois de staurotides auprès de tous les dépôts granitiques. Ailleurs, comme dans les Vosges, dans les montagnes du Var, on les voit passer au micaschiste, et celui-ci au gneiss, qui arrive insensiblement au granite. Or, comme si la liaison intime qu'on aperçoit ne suffisait pas, ces micaschistes, puis les gneiss eux-mêmes, renferment des veines de schiste carburé ou de graphite, même des veines d'anthracite, qui rappellent les dépôts qu'on trouve plus loin dans les grauwackes, et qui sont assez marquées pour avoir déterminé des recherches de combustible.

Il est donc évident que toutes les roches que nous venons de citer, quelles que soient les différences qu'elles présentent, ne sont que des modifications, des métamorphoses d'un seul et même tout

et, comme c'est en approchant des roches granitiques, produites évidemment par la voie ignée, que ces métamorphoses deviennent de plus en plus marquées, il est clair que c'est à l'influence de ces dernières qu'elles sont dues. La même influence se manifeste sur les grès des divers âges dans les points où ils sont en contact immédiat avec les granites : les modifications sont telles qu'on a même donné à ces matières un nom particulier, celui d'*arkose*. D'un côté, elles passent alors par toutes les nuances au granite ; de l'autre, elles se remplissent de substances diverses qu'elles ne renferment pas ailleurs, et qui sans doute y sont venues après coup (§ 151) par l'action des sources thermales, ou par des injections diverses : c'est ce qu'on voit, par exemple, dans les Vosges pour le grès houiller et le grès rouge, dans les Cévennes pour le grès bigarré, en Bourgogne pour le grès du lias, dans le Velay pour les grès tertiaires en quelque sorte les plus récents.

Auprès des éjections porphyriques, les schistes présentent fréquemment des modifications d'un autre genre. On voit alors les parties les plus évidemment sédimentaires passer par degrés à des matières compactes feldspathiques qui conservent plus ou moins leur schistosité, et qui finissent par renfermer des cristaux de feldspath ; ailleurs, ces mêmes matières passent à des argiles solides renfermant des veines calcaires, puis des noyaux de la même substance, et qui prennent tous les caractères des amygdaloïdes, ne perdant que petit à petit leur structure schisteuse, c'est ce qu'on voit dans la Bretagne, dans les Ardennes, dans le Forez, dans les montagnes de Tarare, etc.

Les mêmes phénomènes se font remarquer entre les grès divers et les porphyres qui les ont traversés. La matière arénacée se durcit successivement, prend plus de compacité, et se lie enfin de telle manière avec le porphyre que l'on ne sait où l'un commence et l'autre finit ; c'est ce qu'on voit en France dans les Vosges, dans le Morvan, dans les montagnes du Var.

Tous ces faits appartiennent réellement, à quelques détails près, à l'ancienne géologie, et il n'y a que la manière de les concevoir qui soit changée. Tout se réunissant pour démontrer que notre globe est resté longtemps incandescent à peu de profondeur, que des matières à l'état de fusion plus ou moins pâteuse se sont fait jour à diverses époques à travers la croûte solide, nous concevons que les dépôts de sédiment ont été modifiés, métamorphosés de diverses manières par l'influence de tous les phénomènes ignés corrélatifs, et d'autant plus que ceux-ci ont été plus actifs et de plus longue durée.

§ 213. On comprend une partie de ces métamorphoses par une simple action de chaleur, § 134. Tantôt ces dépôts sédimentaires, même les calcaires sous une forte pression, auront été fondus, et ces éléments se réunissant de différentes manières, il se sera formé des substances définies, mélangées ensemble ou disséminées dans l'une d'elles; tantôt seulement la texture de ces dépôts aura été changée, sans fusion préalable, comme il arrive aux barres de fer de nos fourneaux, ou au verre soumis à une température incapable de le fondre, et dans lequel cependant il se fait une cristallisation nouvelle.

Cette action de la chaleur ne suffit pas toujours seule, et il faut en concevoir une autre, dont on ne se rend pas exactement compte, en vertu de laquelle des substances particulières ont dû être portées au milieu des dépôts qui n'en renfermaient pas les éléments, On conçoit jusqu'à un certain point l'introduction de l'acide sulfurique qui se produit quelquefois dans les phénomènes volcaniques (§ 78); mais on ne comprend pas également celle de la magnésie et des diverses espèces de silicates, et à leur égard tout est encore à peu près hypothétique. Toutefois on peut comparer ces faits à la *cémentation*, au moyen de laquelle on convertit le fer en acier; phénomène qui ne se manifeste pas seulement au contact des matières charbonneuses, mais qui se propage au loin dans l'intérieur du métal, qui a même lieu à distance, comme il résulte des observations de M. Laurent. On sait aussi, par les expériences de ce savant, comme par beaucoup d'effets observés dans les usines, que le peroxyde de fer, les oxydes de chrome, etc., se volatilisent et pénètrent dans la masse des corps qui les enveloppent. Les expériences de M. Gaudin, au chalumeau à mélange détonant, ont fait voir aussi que la silice, la magnésie, la chaux, sont aussi des oxydes volatils, le premier à la température de fusion, les autres avant de se fondre. Enfin, M. Haidinger a montré qu'en chauffant à 200° un mélange de carbonate de chaux et de sulfate de magnésie, il y a double décomposition, formation de dolomie et de sulfate de chaux. Ce sont là évidemment des faits qui conduiront tôt ou tard à l'explication de tous les phénomènes de métamorphisme et d'intrusion des matières étrangères dans les dépôts de sédiment, soit en filons, soit à l'état de dissémination.

EFFETS ANCIENS ATTRIBUABLES A L'ÉROSION DES EAUX.

§ 214. **Morcellement des terrains.** — Nous avons vu les eaux agir par l'acide carbonique qu'elles renferment, par leur poids, par leur action délayante, par les mouvements de translation qu'elles peuvent avoir, par leur choc, comme dans les vagues de la mer, et dégrader ainsi nos continents (§ 89 à 103), ou produire des vallées d'érosion (§ 175). On peut inférer de là que dans chacun des bouleversements que les mouvements divers du sol ont nécessairement déterminés, les eaux, jetées brusquement tantôt d'un côté, tantôt d'un autre, ont dû, comme de nos jours pendant les tremblements de terre (§ 33), ravager, morceler, modifier de toutes les manières les dépôts préexistants. Beaucoup de circonstances peuvent donc être expliquées par l'érosion des eaux et les *dénudations* qu'elles ont pu opérer.

D'abord, lorsque nous voyons dans une contrée des buttes plus ou moins nombreuses de matières sédimentaires (fig. 154), dont les

Fig. 154. *Collines produites par dénudation.*

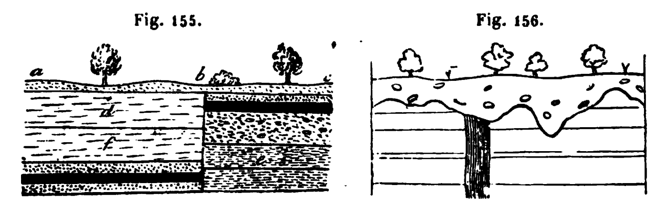
sommets se trouvent au même niveau, et dont les couches se correspondent, nous sommes portés à les considérer comme les témoins de grands déblayements que les eaux ont opérés à de certaines époques. C'est ainsi que nous pouvons expliquer toutes les découpures que présentent les grès sur la pente orientale des Vosges, cet assemblage si remarquable de quilles de toutes les formes qu'on voit à Adersbach en Bohême; les buttes nombreuses qui couvrent le Ross-Shire en Écosse, les buttes gypseuses des environs de Paris, toutes composées des mêmes couches placées à la même hauteur, le morcellement des plateaux basaltiques qui couronnent les collines dans certaines localités; enfin la rupture de certaines coulées de lave qui avaient barré les vallées, comme celles de la Sioule et de la Mone en Auvergne, ou même les avaient remplies, comme en certaines parties du Vivarais (§ 179), où le déblayement a dû s'opérer sur la largeur en laissant des témoins de chaque côté (fig. 139).

Les vallées qui découpent nos terrains meubles sont évidemment produites de la même manière, et il n'est pas douteux que la plupart de celles qui sillonnent les terrains solides n'aient été modifiées par

l'érosion des eaux après les ruptures qui leur ont donné naissance; c'est ainsi que nous pouvons expliquer l'adoucissement de toutes leurs parois dans un grand nombre de localités. Les grands lacs qui se trouvent parfois à leur extrémité, comme sur les deux pentes des Alpes en Suisse et en Piémont, peuvent être attribués à l'affouillement des eaux qui les parcouraient au moment de quelque grande catastrophe, et venaient déboucher avec violence dans la plaine qui les termine.

§ 215. Une multitude d'autres faits conduisent aux mêmes résultats. Lorsque, dans l'intérieur des mines, nous voyons des couches qui ne se correspondent plus, et que dès lors une partie du terrain a dû être soulevée (fig. 155), nous nous demandons naturellement,

Fig. 155. Fig. 156.



si le pays est plat, ce que sont devenues les couches *d* et *f* qui devaient former un monticule entre *b* et *c*. Il est clair qu'elles ont dû être déblayées, ce qu'on ne peut concevoir que par une action postérieure des eaux. De même, quand nous voyons un filon présenter un dike à la surface du sol (§ 72), nous concevons qu'il n'a pu se former ainsi, et que la partie découverte a dû être jadis encaissée comme celle qui l'est encore aujourd'hui; le terrain environnant a donc été enlevé après coup, au moins sur toute la hauteur de la saillie. Il s'est passé nécessairement quelque chose de semblable dans les points où des filons affleurent à la surface du sol (fig. 156), car il n'est pas probable que les matières en fusion se soient immédiatement arrêtées à fleur de terre, et il est à présumer que les terrains ont été démantelés et quelquefois recouverts postérieurement par des déblais divers. Nous comprenons aussi comment tant de masses basaltiques n'offrent plus aujourd'hui aucune trace des matières scoriacées dans leur voisinage (§ 180, 181). Il est possible que ces débris aient été entraînés postérieurement par l'action des eaux, et peut-être en est-il de même des scories qui auraient pu accompagner l'apparition des trapps, § 198.

§ 216. L'action prodigieuse que nous avons vue exercée par les vagues, et les résultats qu'elle a produits de nos jours, nous con-

duisent à penser aussi que tous les lambeaux de roches qui forment partout des îles et des écueils près des côtes, ou des groupes bizarres au milieu des mers, sont également les restes de quelques grands morcellements opérés dans les matières faciles à dé agréger, ou dans les masses fissurées par les divers mouvements du sol, dont certaines parties ont été enlevées postérieurement, soit par le choc répété des flots, soit par des débâcles subites. C'est ainsi qu'on peut expliquer les accidents des falaises de craie d'Étretat (fig. 157) et les découpures des roches porphyriques ou granitiques des îles Shetland (fig. 158), dont nous avons déjà produit des exemples (§ 101). On conçoit, enfin, que des détroits plus ou moins étendus aient pu se former par les deux actions combinées des courants d'eau et des déchirures que le sol a pu subir, par soulèvement ou par affaissement, à des époques déterminées.

Fig. 157.

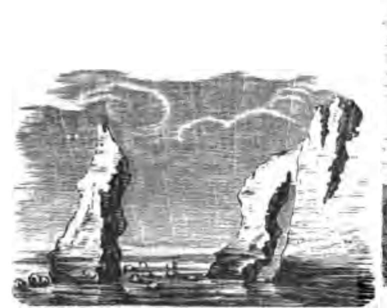
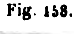


Fig. 158.





Exemples de roches découpées et façonnées par les eaux.

On voit donc qu'on peut attribuer à l'action des eaux une multitude de faits que nous ne saurions expliquer autrement. Nous pouvons, effectivement, discerner leurs dégradations au milieu des montagnes et des vallées, reconnaître l'action des courants par les sillons qu'ils ont tracés sur leur route, découvrir les anciennes falaises qui bordaient les mers aux différents âges, et par là apprécier leurs limites aussi bien que par toutes les autres circonstances. Toutefois la pensée doit soigneusement restreindre l'action immédiate des eaux aux matières meubles ou peu cohérentes ; car lorsqu'il s'agit de matières dures qu'elles attaquent lentement, on est conduit à concevoir que les courants et les vagues n'ont pu agir

efficacement que quand les terrains avaient été préalablement disposés par les fissures, ou les détériorations diverses, que les mouvements du sol ont occasionnées dans les roches.

§ 217. **Usure, sillonnement, transport.** — Lorsque nous voyons certaines montagnes, comme dans le Jura suisse et dans les Alpes, avoir leurs surfaces moutonnées, polies, striées, cannelées sur des étendues plus ou moins considérables, nous pouvons supposer, soit que des glaciers ont existé dans ces lieux, y ont produit des effets analogues à ceux qui résultent de leur glissement (§ 107) ; soit que des courants chargés de débris divers qu'ils entraînaient ont passé en un certain moment sur ces terrains (§ 92 à 97). Lorsque, sur des étendues considérables, comme en Suède, en Finlande, en Laponie, en Angleterre, dans l'Amérique du nord, etc., nous trouvons des montagnes usées à la surface, façonnées suivant une forme allongée et dans une certaine direction, creusées de sillons parallèles, souvent profonds, nous ne pouvons nous empêcher de concevoir de grands courants charriant des matières solides, rochers ou glaçons, qui ont produit ces effets. De même, quand nous voyons des blocs de roches plus ou moins volumineux, qui sont jetés au hasard sur toute espèce de terrain, loin des lieux d'où ils peuvent provenir, nous sommes naturellement conduits à des idées de transport par des courants s'ils sont arrondis, par des glaçons ou des torrents boueux si leurs bords sont aigus, ou enfin par des glaciers si leur accumulation, leur dispersion, peuvent rappeler les moraines (§ 92 à 107).

§ 218. **Morcellement des dolomies.** — Il ne faut pas confondre avec les morcellements produits par les eaux, certains accidents qui peuvent résulter des retraits occasionnés par métamorphisme ; ce qui a lieu probablement dans les dolomies du Tyrol, des Cévennes, etc. Là les masses de ces matières sont fréquemment fendillées déchiquetées de toutes les manières à la surface, surtout au sommet des montagnes ou des plateaux, à peu près comme les dépôts calcaires découpés par les eaux. Or le changement du carbonate simple en double carbonate, spécifiquement plus lourd que la moyenne des composants, nécessite la contraction des masses soumises à la dolomisation ; par conséquent celles-ci ont dû se fendre et se fissurer dans tous les sens, et les dégradations qu'elles nous présentent ne sont que la suite de ces effets.

COMPOSITION DE LA CROUTE TERRESTRE.

§ 219. **Division générale.** — D'après tout ce que nous avons dit, on doit déjà comprendre qu'il y a lieu de distinguer deux sortes de produits très-différents dans la partie solide du globe qui peut être soumise à notre observation : les uns ont été formés par sédiment, et consistent principalement en cailloux roulés, en sables, limons et calcaires, qui offrent un grand nombre de variétés ; les autres formés par fusion à l'intérieur du globe, ont été expulsés au dehors et présentent des granites avec toutes leurs modifications, des porphyres extrêmement variés, différentes roches compactes, et généralement des silicates de toute espèce, rarement seuls, mais le plus souvent mélangés de toutes les manières. Ces deux sortes de produits sont fréquemment entremêlés dans la nature, et les premiers subissent presque toujours alors des modifications telles, que dans le principe on ne les a pas distingués des seconds, et que, plus tard, on en a fait une classe de terrains particuliers dans laquelle tous les âges se trouvaient confondus : c'était la classe des *terrains de transition*, expression dont il faut oublier aujourd'hui l'ancienne valeur, aussi bien que celle de *terrains primitifs* qui est tout aussi inexacte.

Pour faire connaître la nature et les dispositions relatives des diverses matières dont se compose la croûte terrestre, nous ne distinguerons que les deux sortes de dépôts dont nous venons de parler; nous commencerons par les terrains de sédiment, dont la série est très-régulière quand on fait abstraction des matières cristallines qui s'y sont introduites à diverses époques.

COMPOSITION DES TERRAINS DE SÉDIMENT.

§ 220. **Coup d'œil général.** — Les plus anciens dépôts de sédiment remontent certainement à une époque extrêmement reculée ; il a dû s'en former dès le moment où l'eau a pu rester liquide à la surface du globe, et les premiers ont dû se placer sur la pellicule refroidie et disloquée au-dessus de la matière en fusion (§ 138). Mais bien que nous apercevions des dépôts très-anciens relativement à

ceux qui terminent nos continents, il n'est pas probable que nous soyons encore parvenus à ceux des premiers âges qui se seront faits sans doute avant toute création organique. Les plus anciens sédiments que nous ayons pu reconnaître jusqu'ici, renferment en effet des débris de mollusques et de zoophytes qui n'auraient pu vivre ni à la température de la mer primitive (§ 133), ni dans la solution saline qu'elle devait offrir alors, par suite des matières dégagées de la croûte consolidée qui venait d'envelopper le globe, et qui devait agir comme les laves en se refroidissant (§ 80).

Quoi qu'il en soit, on observe distinctement un certain nombre de dépôts sédimentaires entre les plus modernes, qui se continuent de nos jours, et les plus anciens que nous puissions apercevoir. Ces dépôts sont superposés les uns aux autres dans un ordre constant : et, s'il était possible de faire une tranchée suffisante dans une partie du globe où ils seraient tous rassemblés, on aurait les dispositions successives que présente le tableau ci-joint, où l'on voit vingt-sept étages principaux qui se distinguent par différents caractères. Mais il est à remarquer que chacun de ces grands dépôts se divise et se subdivise fréquemment encore en assises diverses, plus ou moins distinctes, composées le plus souvent de matières arénacées, d'argile et de calcaire, qui offrent divers degrés de consistance, et forment des couches plus ou moins épaisses. L'ensemble de leurs lits alternatifs donne souvent aux étages successifs plusieurs centaines de mètres de puissance.

Il est clair que s'il existait de pareilles tranchées à la surface du globe, on pourrait en relever toutes les couches et en distinguer les âges relatifs par des numéros d'ordre, la plus profonde étant la plus ancienne, et celle de la surface étant la plus moderne. Il suffirait alors, dans les tranchées de profondeurs diverses qu'on rencontrerait ailleurs, de compter de haut en bas pour savoir toujours où l'on se trouve, et les variations mêmes qu'une couche déterminée pourrait subir en différents lieux n'apporteraient aucune difficulté dans l'observation. Mais il n'en est pas ainsi : les escarpements que nous rencontrons n'offrent toujours qu'une très-petite portion de la série, tantôt dans une partie de son épaisseur, tantôt dans une autre; jamais on ne voit la série tout entière, et ce n'est qu'en combinant les observations recueillies en différents lieux qu'on est parvenu à l'établir telle que nous la connaissons aujourd'hui, en même temps qu'on a reconnu les circonstances particulières de formation de chaque dépôt.

§ 221. On conçoit, par suite du morcellement de l'ensemble, qu'il puisse devenir souvent très-difficile de se reconnaître, et qu'en

Tableau des dépôts sédimentaires principaux.

	Alluvions modernes. Diluvium.
Dépôts de la Bresse, collines subapennines, gypse.	Terrain subapennin.
Faluns, molasse et nagelflue, gypse d'Aix.	Terrain de molasse.
Gypse parisien, calcaire grossier, argile.	Terrain parisien.
Craie blanche.	Terrain crétacé supérieur.
Craie marneuse.	
Craie tuffeau.	Terrain crétacé inférieur.
Craie verte.	
Grès vert.	
Dépôts néocomiens.	
Groupe portlandien.	Terrain jurassique.
Groupe corallien.	
Groupe oxfordien.	
Grande oolite.	
Lias.	
Marnes irisées.	Terrain de trias.
Calcaire conchylien.	
Grès bigarré.	
Grès vosgien.	
Calcaire pénéen.	Terrain penéen.
Grès rouge.	
Grès houiller.	
Calcaire carbonifère. Vieux grès rouge. Grès divers. Schistes anthraciteux.	Terrain dévonien.
Calcaires et schistes micacés.	Terrain silurien.
Schistes micacés, calcaires, gneiss.	Terrain cumbrien.
	Matières inconnues, peut-être primitives.

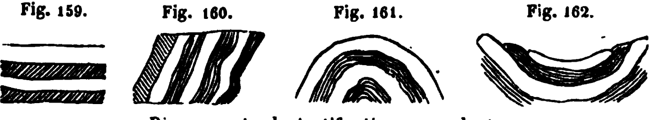
présence d'un escarpement on soit fréquemment, au premier abord, dans l'impossibilité de se prononcer sur le point de la série auquel il doit être rapporté. En effet, d'un côté, les différentes couches de même nature, qui se succèdent dans cette série, ont souvent entre elles les plus grandes analogies, les calcaires d'un étage ressemblant plus ou moins à ceux d'un autre, et les différents dépôts de grès et d'argile ayant encore en général plus de rapports. D'un autre côté, il arrive au contraire que ce même dépôt varie souvent d'un point à un autre : ici, par exemple, il offre un calcaire compacte, là un calcaire terreux; ailleurs le même calcaire se trouve mêlé de sables, et plus loin ce n'est plus que du sable à peu près pur, etc. L'apparition et l'injection des matières cristallines viennent encore ajouter à l'embarras par les modifications de texture, de nature même (§ 185 à 187, 198 à 211), qu'elles peuvent avoir fait éprouver à tout ce qui les avoisine. On conçoit d'ailleurs que moins on trouve de couches superposées dans le même lieu, plus les difficultés augmentent, et qu'elles sont au maximum lorsqu'on ne trouve qu'un dépôt isolé, sans savoir sur quoi il repose et sans qu'on aperçoive rien qui le recouvre : or, c'est ce qui se présente dans un grand nombre de contrées. Ajoutons qu'il arrive assez souvent qu'une ou plusieurs des couches sédimentaires manquent complétement dans certaines localités (ce qui tient à ce que le dépôt précédent s'est trouvé soulevé au-dessus des eaux au moment de leur formation), et que si (après un affaissement) il vient à se former ensuite quelques couches postérieures, l'observateur est exposé à attribuer à celles-ci un âge fort différent de celui qu'elles ont réellement.

§ 222. Pour sortir de ces embarras, nous avons les observations de continuité des couches, qui permettent quelquefois d'en suivre quelques-unes depuis les points où elles présentent certains caractères jusqu'à d'autres où elles offrent des caractères différents, depuis les points où elles sont complétement isolées jusqu'à d'autres où l'on peut voir sur quoi elles reposent et par quoi elles sont recouvertes, etc. C'est ainsi, par exemple, que, partant des dépôts jurassiques qui bordent les Alpes, nous arrivons par continuité, au milieu de ces montagnes, jusqu'à certains dépôts de marbres et de schistes talqueux que nous sommes conduits à identifier avec les calcaires compactes, les argiles schisteuses, etc., qui composent les premiers. C'est ainsi qu'en suivant la craie de la Champagne, de la Picardie, etc., qui paraît complétement isolée de tout autre dépôt, nous parvenons à la voir d'une part s'appuyer sur les grès verts qui reposent eux-mêmes sur le calcaire jurassique, et de l'autre passer sous les calcaires parisiens.

Nous avons aussi les observations de *stratification*, et d'*inclinaison* des diverses couches vers un point ou vers un autre, qui nous permettent souvent de conclure que telle espèce de dépôt passe au-dessus ou au-dessous de tel autre, qu'on trouve isolé ou à distance. Les fragments et les cailloux roulés peuvent évidemmeni indiquer la postériorité des dépôts qui les renferment à ceux dont ils proviennent, et fournir ainsi un très-bon moyen de distinction lor qu'ils sont suffisamment caractérisés. Enfin la nature des débri organiques que renferment les divers dépôts est devenue aujourd'hui d'un très-puissant secours pour se reconnaître au milieu du dédale des diverses formations.

§ 223. **Diverses sortes de stratification.** — On nomme stratification l'arrangement par couches successives des différents dépôts sédimentaires qui se sont formés les uns après les autres. Il y a, en général, parmi les dépôts que l'on rencontre à la surface du globe, deux sortes de stratifications : l'une horizontale, qui est la stratification naturelle suivant laquelle toutes les matières de transport se déposent sous les eaux (§ 116) ; l'autre plus ou moins inclinée, et résultant des soulèvements qui ont eu lieu à diverses époques (§ 165, etc). Dans celle-ci, il faut distinguer le *degré de l'inclinaison*, qui peut varier jusqu'à la verticale, et le *point de l'horizon vers lequel plongent les couches.* Cette dernière partie de l'observation détermine la direction des crêtes des couches, ou, comme l'on dit, la *direction des couches*, qui est toujours perpendiculaire au sens d'inclinaison, et qui indique aussi la direction du mouvement par lequel l'effet a été produit. Mais ces premières observations générales, de couches horizontales ou inclinées, ne suffisent pas toujours ; il y a fréquemment lieu à distinguer les stratifications relatives des divers dépôts, ce qui se réduit à la *concordance* ou à la *discordance* qui peut exister entre eux.

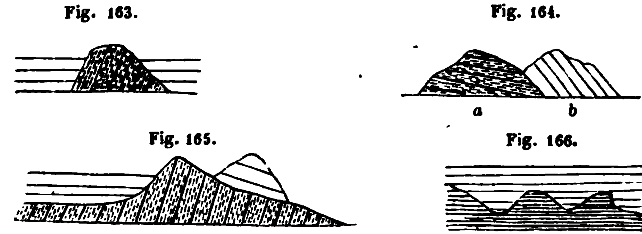
a. Stratification concordante. —Il y a concordance de statification entre différents dépôts lorsque toutes les couches sont parallèles les unes aux autres, quelles que soient d'ailleurs leur position, horizontale ou inclinée (fig. 159, 160), et leur forme plane, ondulée, convexe ou concave (fig. 161, 162). Ces deux dernières disposi-


Fig. 159. Fig. 160. Fig. 161. Fig. 162.

Diverses sortes de stratification concordante.

tions sont souvent désignées, l'une sous le nom de statification *en forme de manteau*, l'autre sous celui de *fond de bateau*, qu'on applique surtout aux dépôts de houilles, où on la regarde comme assez commune.

b. Stratification discordante.— La discordance dans la stratification se manifeste toutes les fois que les couches d'un dépôt sont inclinées d'une certaine manière, tandis que celles de l'autre sont inclinées différemment; tantôt ce sont des couches horizontales qui viennent butter contre des couches inclinées (fig. 163); tantôt des couches inclinées par rapport à d'autres qui le sont plus ou



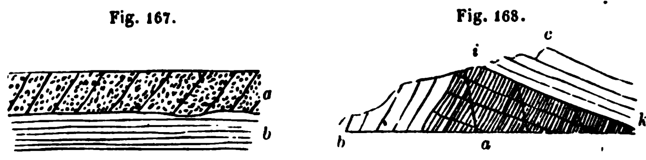
Exemples de stratification discordante.

moins, comme en *a* et *b* (fig. 164). On distingue sous le nom de *stratification transgressive* un cas particulier de discordance où le dépôt supérieur, stratifié d'une manière ou de l'autre, ou non stratifié, repose sur la tranche des couches du dépôt inférieur (fig. 165). Il y a même lieu de distinguer un cas de discordance où les couches peuvent être néanmoins parallèles : c'est ce qui a lieu lorsqu'un dépôt horizontal, après avoir été dégradé, sillonné de différentes manières par les eaux, se trouve recouvert en totalité par un dépôt du même genre qui remplit tous les bas-fonds (fig. 166), comme on le voit assez souvent entre le terrain parisien et les dépôts des étages supérieurs. La discordance a lieu dans ce cas par la jonction bout à bout des couches différentes sur la pente des anciennes vallées.

§ 224. **Difficultés d'observation.**— Lorsqu'il s'agit d'établir les rapports de stratification entre deux dépôts, il est nécessaire d'apporter une grande attention à la structure particulière des couches, qui peut en certains cas induire facilement en erreur. Ainsi, de ce que la couche *a* (fig. 167) présente des divisions particulières, il ne faudrait pas en conclure qu'il y a avec la couche *b* discordance de stratification; cette apparence résulte entièrement de la structure que la couche *a* doit à sa formation rapide dans des circon-

stances particulières comme nous l'avons vu dans les atterrissements qui ont lieu dans nos rivières (§ 115).

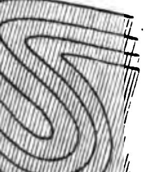
Fig. 167. Fig. 168.



Exemples de stratification douteuse.

Les matières schisteuses peuvent à cet égard donner lieu à beaucoup d'incertitudes, parce qu'elles offrent des divisions dans tous les sens et que, quelquefois, la moins apparente est précisément celle de la stratification. Ainsi, en regardant les plus fines divisions de la masse schisteuse *a* (fig. 168) comme annonçant la stratification, on considérerait le dépôt *b* comme concordant avec le premier, et dès lors le dépôt *c* comme discordant. Ce serait le contraire si l'on prenait les joints parallèles à *ik* pour ceux de la stratification; le dépôt *c* serait alors concordant, et le dépôt *b* discordant. Enfin, en prenant les autres joints de la masse schisteuse comme indice de la stratification, les autres dépôts seraient tous deux discordants. On conçoit qu'il puisse être souvent difficile de se prononcer; cependant, en général, la division schisteuse est fréquemment une structure, qui tient peut-être à une certaine cristallisation des matières terreuses dont la roche provient, et c'est en conséquence parmi les autres qu'il faut ordinairement choisir. Or, les joints de dislocation, car il faut bien que l'une ou l'autre division ait été produite ainsi, sont des fentes unies et bien déterminées, souvent légèrement ouvertes, qui se prolongent ordinairement dans plusieurs dépôts consécutifs, tandis que les joints de stratification sont plus ondulés, et offrent même plus d'adhérence.

Fig. 169.

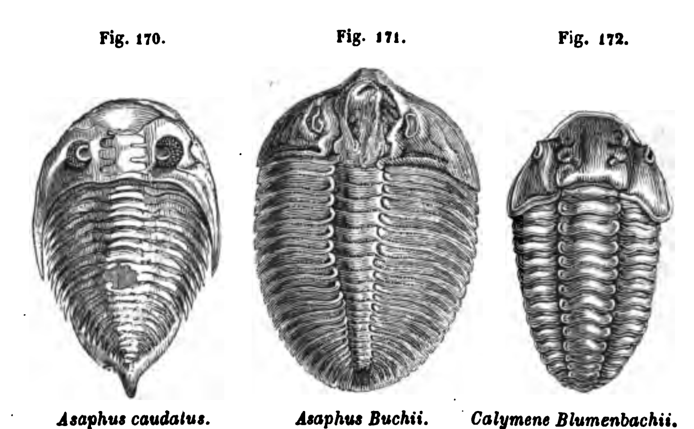


Il est à remarquer que les ondulations les plus irrégulières des véritables strates sont souvent traversées toutes, comme on le voit dans les Ardennes, dans le Forez, dans les Corbières, etc., par la structure schisteuse fig. 169), qui n'en est nullement altérée. Cette circonstance annonce évidemment que cette structure est un effet postérieur au contournement des couches, et qu'on peut attribuer à un métamorphisme

(§ 211), plus moderne que leur dérangement. Les divisions extraordinaires dont on reconnaît ainsi l'existence prennent quelquefois le nom de *fausse stratification*.

§ 225. **Caractères fournis par les restes organiques.** — Les restes organiques, très-nombreux dans la plupart des dépôts sédimentaires, nous fournissent aussi les moyens de nous reconnaître au milieu du dédale de couches successives. D'abord il y en a qui sont particuliers à certains dépôts, qui ne se sont jamais montrés ailleurs, et qui par conséquent les font distinguer nettement comme des *horizons géologiques*. Ainsi, le calcaire de Bala, les terrains siluriens ou dévoniens inférieurs se reconnaissent par la présence des débris d'une certaine famille de crustacés, nommés *trilobites*, qui ne se trouvent nulle autre part ailleurs, ou dont on voit tout au plus quelques traces fort rares dans le calcaire carbonifère. Telles sont les diverses espèces du genre *Asaphe* (fig. 170 et 171), du genre *Calymène* (fig. 172), etc.

Fig. 170. Fig. 171. Fig. 172.

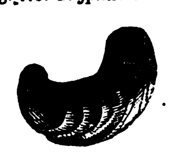


Asaphus caudatus. *Asaphus Buchii.* *Calymene Blumenbachii.*

D'autres caractères excellents sont fournis par la présence de la *gryphée arquée* (fig. 173), qui appartient au *lias*, et ne se trouve que là; par l'*exogyra virgula* (fig. 174) (genre de gryphées à crochets rejetés sur le côté), qui appartient au contraire à la partie supérieure des terrains jurassiques; par les *baculites* et les *turrilites* (fig. 175 et 176), coquilles cloisonnées, droites ou turriculées, à bords découpés, qui commencent et finissent dans la période crétacée.



Fig. 173. *Gryphæa arcuata.*



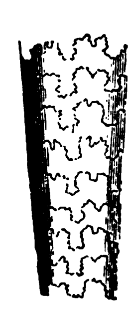




Fig. 174. *Exogyra virgula.* Fig. 175. *Baculite.* Fig. 176. *Turrilites costatus*

Beaucoup d'autres débris, moins exclusifs que les précédents, nous fournissent encore de bons moyens de distinction, soit parce qu'ils se trouvent dans des limites assez resserrées, soit parce qu'aux différents étages ils présentent des espèces particulières. Ainsi les *orthocératites* (fig. 177), qui commencent dans les calcaires les plus profonds, disparaissent entièrement après le calcaire carbonifère. Les *ammonites* à cloisons anguleuses et persillées ne commencent qu'assez haut dans la série des terrains sédimentaires, et finissent avec la craie : elles nous offrent des espèces caractéristiques à chaque étage : par exemple, l'*ammonite noueuse* (fig. 178), ne se trouve que dans le calcaire conchylien ; l'*ammonite de Buckland* (fig. 179) appartient au *lias*, etc.

Fig. 177.

Orthoceras lateralis.



Fig. 178. *Ammonites nodosus.*



Fig. 179. *Ammonites Bucklandi.*

Les *bélemnites* (fig. 180) ne commencent que dans le lias, et disparaissent pour toujours après la craie. Les *scaphites* (fig. 181) commencent et finissent dans les terrains crétacés.

Fig. 180.



Belemnite brisée avec portion de l'alvéole chambree.

Fig. 181.



Scaphites æqualis.

Les brachiopodes (voyez *Zoologie*), dont les bras roulés en spirale se voient encore à l'intérieur de quelques fossiles (fig. 183), nous offrent aussi des caractères assez tranchés. Les couches anciennes nous présentent : 1° les *orthis* (fig. 182), caractérisées par une ouverture triangulaire au-dessous du sommet, la valve dorsale étant bombée, et l'autre plus ou moins; 2° les *spirifères* (fig. 183), à ouverture semblable, mais à valve dorsale creusée au milieu, et l'autre renflée vis-à-vis; 3° les *productus* (fig. 184), sans ouverture, dont la valve ventrale est plate, ou même creuse. Plus haut, ces genres disparaissent, et les *térébratules* (fig. 185, 186), percées d'un trou



Fig. 182. *Orthis testudinaria.*



Fig. 183. *Spirifer trigonalis.*



Fig. 184. *Productus antiquatus.*



Fig. 185. *Terebratula digona.*



Fig. 186. *Terebratula octoplicata*

rond au sommet même de la valve dorsale, sont les seuls débris de ce groupe qui se continuent jusque dans la craie.

§ 226. Nous ne parlons ici que des débris organiques qu'on rencontre fréquemment; mais si nous pouvions entrer dans le détail des débris d'animaux vertébrés, nous aurions encore beaucoup de caractères importants. Nous verrions au-dessous des dépôts houillers les restes de ces énormes poissons dont on a fait un groupe nommé *poissons sauroïdes* à cause de leur forte organisation et de leurs mâchoires solides, armées de fortes dents, qui annoncent leur voracité; on en retrouve diverses espèces jusqu'au terrain crétacé, avec des débris de squales dont les dimensions devaient être aussi très-considérables. Parmi les reptiles on trouve un grand nombre de genres et d'espèces, remarquables surtout par des dimensions colossales, qui commencent avec les dépôts pénéens. Des sauriens gigantesques, les uns nageurs, les autres terrestres ou volants, caractérisent les dépôts depuis le lias jusqu'à la craie inclusivement; au-dessus se trouvent des crocodiles, comme aussi de vrais squales, qui vont de la craie jusque dans les terrains supérieurs. Les mammifères commencent dans les terrains jurassiques; mais c'est seulement au-dessus de la craie qu'ils deviennent abondants et présentent de nombreuses espèces; enfin, c'est dans les terrains subapennins qu'ils se rapprochent entièrement des formes actuelles.

La flore des divers dépôts sédimentaires nous présente de nombreuses espèces de la famille des fougères dans la partie supérieure des terrains dévoniens, et surtout dans le groupe des terrains houillers. Les cycadées, les conifères ne se montrent bien clairement que dans les dépôts supérieurs; enfin, c'est après la craie que se trouvent les débris de plantes dicotylédones.

Nous reviendrons sur tous ces débris organiques, et nous fixerons les epoques relatives à leur existence.

§ 227. **Nature des dépots de sédiment.** — Les terrains sédimentaires se composent en très-grande partie de dépôts calcaires qui présentent un assez grand nombre de variétés, tantôt compactes, tantôt plus ou moins terreuses, et souvent mélangées d'une quantité plus ou moins considérable de matières sableuses ou argileuses. Il y en a d'oolitiques qui constituent des couches puissantes répétées souvent un assez grand nombre de fois et séparées par d'autres dépôts. Ce n'est que dans le voisinage des matières de fusion que les calcaires prennent un caractère cristallin et se remplissent souvent alors de diverses matières; de là résultent les différents marbres composés, qui, comme roches, prennent différents noms. Voyez les dépôts de cristallisation, § 312 r.)

Les dépôts calcaires des terrains de sédiment alternent de toutes les manières avec des dépôts arénacés, qui reçoivent différents noms, suivant la forme des parties et aussi suivant leurs positions dans la série géologique. On nomme *brèches* les matières formées de fragments anguleux, et *poudingues* celles qui sont composées de morceaux arrondis d'une certaine grosseur. On les désigne sous le nom de *grès* lorsque les parties sont en petits grains distincts; et on leur donne le nom d'*argiles* et de *marnes*, qui sont alors plus ou moins calcarifères, lorsque les parties composantes deviennent extrêmement fines.

D'après la position géologique, on donne le nom de *grauwackes* aux brèches, aux poudingues, aux grès, quelquefois même aux argiles des terrains de sédiment les plus anciens, ou les plus rapprochés des terrains de cristallisation qui ont agi sur eux de différentes manières. On les distingue en *grauwackes grossières* et *grauwackes schisteuses;* celles-ci renferment souvent un grand nombre de paillettes de mica disposées à plat, qu'on reconnaît à leur miroitement. Elles paraissent avoir été primitivement des argiles, que des circonstances de desséchement et de métamorphisme ont rendues fissiles; elles passent par toutes les nuances aux schistes micacés et aux schistes talqueux. Le plus souvent les grauwackes ont des teintes sombres, et les variétés schisteuses deviennent tout à fait noires; cependant il y en a de diverses autres couleurs, et notamment de rouges, comme celle qu'on a nommée *vieux grès rouge* (*old red sandstone* des Anglais).

Les grès proprement dits prennent aussi les différents noms de *quarzite*, *grès houiller*, *gres bigarré*, *grès vert* et *molasse*, etc. Les *quarzites* sont des grès consolidés qu'on rencontre dans le voisinage des terrains de cristallisation, où ils ont pris le caractère de quarz grenu par voie de métamorphisme.

Le *grès houiller*, ainsi nommé parce que c'est au milieu de ses dépôts que se trouve la houille, est en général formé d'une accumulation de grains quarzeux et feldspathiques réunis par un ciment argileux plus ou moins micacé, ordinairement grisâtre; il passe à des *argiles schisteuses* et à des *schistes bitumineux* qui ne sont que des grès très-fins.

Le *grès rouge*, plus moderne que le grès houiller, présente souvent un ciment argileux et sablonneux, de couleur rouge, qui empâte des galets de quarz, de quarzite, de schiste argileux, de porphyre, de granite, etc., souvent réduits à l'état de grains fins, parmi lesquels on distingue le feldspath par sa décomposition en kaolin. Ces grès passent souvent au porphyre par des parties argi-

leuses plus compactes qui finissent par renfermer des cristaux de feldspath, et qu'on nomme *argilolite* et *argilophyre*.

Le *gres bigarré*, ordinairement à grains fins, est encore, en général, de couleur rouge; mais, en grand, il passe par toutes les teintes, et surtout se trouve intercalé avec des argiles ou des marnes rouges, violâtres, verdâtres, qui donnent à la masse une bigarrure de couleurs plus ou moins remarquables.

Le *grès vert* prend sa dénomination de la grande quantité de petits grains verts qu'il renferme; il est presque toujours calcarifère, et passe par toutes les nuances à la craie verte, avec laquelle il se trouve.

La *molasse* est un grès fin, renfermant aussi des grains verts, qui est plus ou moins argileux et calcaire, et qu'on trouve dans les terrains de sédiment en quelque sorte les plus modernes.

Il n'est pas inutile de remarquer que dans divers ouvrages les différents grès, lorsqu'ils sont micacés, ce qui est assez fréquent, reçoivent le nom de *psammite*. Quelquefois on nomme *pséphite* les variétés qui présentent un ciment argileux. Les *arkoses*, comme nous l'avons dit (§ 212), ne sont que des modifications de toute espèce de grès auprès des roches de cristallisation. On y reconnaît alors des veines de quarz, de silex, de barytine, divers amas métallifères, toutes substances formées sans doute après coup, soit par des injections de matières fondues, soit par infiltration des eaux thermales, qui venaient alors du sein de la terre à travers les fissures de la roche cristalline (§ 151).

ÉTUDE DES DIVERS DÉPÔTS DE SÉDIMENT, OU TERRAINS.

§ 228. **Moyens de division.** — Les discordances de stratification dans les terrains de sédiment sont des faits très-importants à constater; car si certains dépôts se trouvent quelque part en couches inclinées, tandis que d'autres se sont formés par-dessus, en couches horizontales par exemple, il faut bien en conclure que les premiers ont été produits avant une certaine catastrophe qui les a redressés (§ 165), et que c'est au contraire après cette catastrophe que les autres se sont précipités des eaux. De là deux périodes plus ou moins longues de formations tranquilles séparées par un bouleversement, qui correspondent par conséquent à des époques géologiques très-différentes l'une de l'autre. C'est surtout d'après les observations de stratification, aidées par les différences que présentent les débris organiques aux divers étages de matières sédimentaires,

aussi bien que par la nature des roches roulées qui composent les dépôts de cailloux et de graviers qui se sont succédé, qu'on est conduit à partager toute la série en divers groupes, ou terrains, qui représentent autant d'époques géologiques, comme nous l'avons indiqué par des accolades dans le tableau (page 181). Chaque groupe est en stratification discordante avec celui qui le précède, ce qu'on observe quelquefois aussi dans quelques-unes des couches qui le composent. Les différentes divisions qu'on parvient à reconnaître présentent fréquemment alors un assez grand nombre de caractères distinctifs de toute espèce.

§ 229. **Terrains de sédiments anciens.** — On regarde comme appartenant à d'anciens dépôts de sédiment, modifiés par les agents métamorphiques, tous ceux qu'on trouve à la surface de la terre à l'état de schiste argileux, de micaschistes et même de gneiss. Ces dépôts offrent des directions de couches très-variées qui annoncent que c'est à des âges très-différents qu'il faut les rapporter. Les plus anciens qu'on ait pu distinguer jusqu'à présent offrent une direction parallèle à celle d'un grand cercle orienté à Vannes vers le N.-N.-O.; d'autres ont leurs directions parallèles à un grand cercle qui serait au même lieu N. 23° E., ou O. 38° S., etc. Les premiers sont les dépôts de schistes luisants, satinés, de Belle-Ile-en-Mer, ainsi que ceux qui se trouvent vis-à-vis l'embouchure de la Vilaine; les seconds sont les schistes verdâtres du pays de Galles et du Westmoreland; enfin, les derniers sont les micaschistes et les gneiss de la Loire-Inférieure, de la Vendée, ceux même de la Corrèze sur la direction de Tulle à Nontron, des bords du Lot, auprès d'Espalion (Aveyron), et même des bords du Thoré au nord-est de Castres, etc. On voit que ces divers dépôts se rencontreraient en stratifications discordantes, s'ils ne se trouvaient à de grandes distances les uns des autres, et quelquefois même séparés par des mers. Sans doute, l'observation en fera découvrir beaucoup d'autres tout aussi distincts que ceux que nous venons d'indiquer, à mesure qu'on étudiera avec plus de soin l'allure des divers dépôts de ces anciennes époques.

On n'a trouvé dans les dépôts dont nous venons de donner la direction des couches, aucune trace de corps organisés fossiles, soit que, ce qui n'est guère probable, ils aient été formés avant que la terre présentât des êtres vivants (§ 134), soit que les débris organiques qui y ont été renfermés aient été détruits dans les métamorphismes profonds que ces roches ont dû subir, comme on le voit dans un grand nombre de lieux pour des dépôts beaucoup plus modernes (§ 269, 283).

§ 230. **Terrain cumbrien.** — On a regardé longtemps le centre des montagnes du pays de Galles (*Cambria*), comme offrant les terrains sédimentaires les plus anciens, auxquels on a donné le nom de *terrain cambrien*, qu'on a appliqué plus tard à certains dépôts schisteux de la Bretagne. Or, il se trouve que ces terrains de Bretagne sont plus anciens que ceux du pays de Galles, et qu'ils n'ont d'analogie réelle qu'avec ceux du Cumberland (*Cumbria*), d'où il résulte une inconséquence de langage, qu'on a cru pouvoir faire cesser, sans trop modifier une expression reçue, en adoptant pour ces derniers le nom de *schiste cumbrien.*

Ces dépôts dont la principale direction des couches rapportée à Vannes, est de O. 21° S., se composent essentiellement de schistes luisants, satinés, généralement bleus ou noirs, quelquefois verdâtres, se modifiant autour des masses granitiques ou siénitiques qui les traversent, devenant alors talqueux ou chloritiques, et passant à des micaschistes. On y cite çà et là quelques couches de grauwackes schisteuses et des grès à grains fins, comme aussi quelques rares et faibles couches de calcaire, comme à Cartravers, dans les Côtes-du-Nord, et à Quency dans la Manche.

Dans le Cumberland on a trouvé dans ces schistes quelques empreintes de *graphtolites* (pennatules fossiles) (fig. 187) et de fucus. En Bretagne on ne voit que quelques rares *encrines* dans les calcaires que nous avons cités.

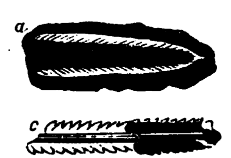


Fig. 187.

Les dépôts cumbriens occupent une assez grande étendue dans la partie septentrionale de la Bretagne et de la Normandie ; ils couvrent surtout un espace de plus de 40 lieues de long sur 12 à 20 de large entre Pontivy et Saint-Lô, où ils sont interrompus par un assez grand nombre de buttes granitiques qui s'élèvent au milieu d'eux. On en retrouve d'analogues dans le Cumberland et la Suède, entre Gotheborg et Upsal, d'où ils se prolongent dans le midi de la Finlande ; ils paraissent aussi former les roches les plus anciennes des Pyrénées et de la Catalogne.

§ 231. **Calcaire de Bala.** — Il existe sur les bords du lac de Bala, dans le Merionethshire, à la partie septentrionale des montagnes du pays de Galles, des couches calcaires qui paraissent être plus modernes que celles que nous venons de citer, dont elles se distinguent par divers débris organiques. On y cite quelques polypiers, des trilobites (§ 223), des spirifères, comme dans les terrains suivants, mais dont les espèces paraissent être différentes.

Ces calcaires reposent sur les couches redressées des schistes

verts satinés du Longmynd et paraissent faire partie d'une série de roches fossilifères encore peu connue de cette contrée. Le dépôt paraît manquer en Bretagne, aussi bien que les schistes sur les tranches desquels il repose en stratification discordante; mais il paraît se retrouver dans ce qu'on nomme la *formation taconique* dans l'Amérique septentrionale.

§ 232. **Terrain silurien.** — Ce terrain dont le nom est tiré de celui des peuples qui habitaient les parties de l'Angleterre et du pays de Galles, où il a été d'abord étudié, diffère essentiellement de ceux qui l'ont précédé, en ce qu'il repose sur eux en stratification discordante. C'est ce qu'on voit dans l'Orne, dans la Manche et en Bretagne, relativement aux schistes cumbriens, et en Angleterre, à l'égard des schistes plus modernes du pays de Galles et du Westmoreland. La direction des couches est parallèle à celle d'un grand cercle passant par Vannes et orienté sur O. 40° S.

Partout ces terrains commencent par des dépôts arénacés; en Angleterre par ceux qu'on nomme grès de Caradoc, dans les autres contrées par des poudingues, des grès, des quarzites. Les grès aussi bien que les quarzites alternent avec des schistes, la plupart noirs, qui passent à des grauwackes schisteuses; et au milieu de ces dépôts se trouvent des couches calcaires plus ou moins nombreuses.

On trouve dans ce terrain des *trilobites* de diverses espèces (fig. 169 à 171), dont les ardoises d'Angers nous offrent de beaux exemples; des *orthocératites* (fig. 188), des *lituites* de grandes dimensions (fig. 189), des *productus* (fig. 190); une division particulière de térébratule nommées *pentamères* (fig. 191 à 193), dont on ne trouve le plus souvent que les moules internes; des *térébratules* (fig. 194); des *orthis* (fig. 195); diverses sortes de *polypiers* (fig. 196, 197).

§ 233. Ces dépôts sont fort abondants en Bretagne et en Normandie; ils couvrent un grand espace au sud de Brest, un autre plus petit à l'est de Lannion, un troisième à Cherbourg, à Coutances, formant toute la côte occidentale, et tournant de là vers le nord-est jusqu'à Falaise. On les retrouve au sud des dépôts cumbriens, jusqu'au delà d'Angers, occupant de l'ouest à l'est tous les terrains compris entre Ploermel et Argentan. Ils remplissent aussi en Angleterre toute la partie orientale du pays de Galles jusqu'aux Grampians. Ils constituent le terrain ardoisier des Ardennes, et celui de Hunsdruck, se prolongent dans quelques parties de l'Allemagne, passent en Laponie, et forment la côte méridionale de Finlande jusqu'à la mer Blanche. On les retrouve peut-être au pied de la montagne Noire en Languedoc, dans les montagnes des Maures et de l'Esterel (Var) et en Corse.

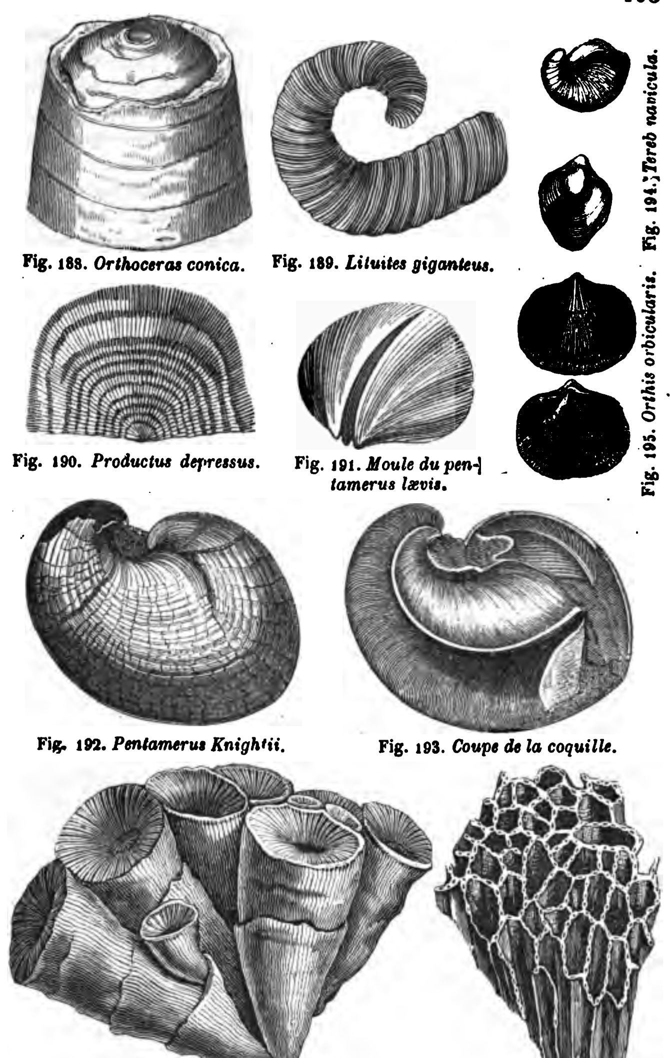


Fig. 188. *Orthoceras conica.* Fig. 189. *Lituites giganteus.*

Fig. 194. *Tereb. navicula.*

Fig. 190. *Productus depressus.* Fig. 191. *Moule du pentamerus lævis.*

Fig. 195. *Orthis orbicularis.*

Fig. 192. *Pentamerus Knightii.* Fig. 193. *Coupe de la coquille.*

Fig. 196. *Cyathophyllum turbinatum.* Fig. 197. *Catenipora escharoïdes.*

§ 234. **Terrain dévonien.** — Le terrain ainsi nommé parce qu'il est abondant dans le Devonshire, se trouve encore nettement séparé du terrain silurien, en ce qu'il est avec lui en stratification discordante, comme on le voit en Belgique, à Givet, Fumay et Spa. Il commence partout par des débris plus ou moins grossiers, par des poudingues qui alternent à diverses reprises avec des grès auxquels les parties grossières passent par toutes les nuances. Ce sont ces premiers dépôts qu'on nomme en Angleterre *vieux grès rouge* (*old red sandstone*), et qui renferment des débris de roches siluriennes ou *tilstone;* en Belgique ce sont les poudingues de Burnot et le grès du Condros. Viennent ensuite des grès schisteux plus ou moins fins, des schistes de diverses espèces, des calcaires divers, qui alternent tous ensemble, et au milieu desquels se trouvent des couches d'anthracite, ce qui fait aussi donner à ce terrain le nom de *terrain anthraxifère* ou *anthracitifère.*

L'anthracite des terrains dévoniens nous offre les plus anciens combustibles charbonneux que nous connaissions aujourd'hui. Ils renferment déjà des fougères, des calamites, diverses sortes de plantes généralement peu différentes de celles qu'on trouve dans les terrains houillers qui viennent bientôt après.

Les débris animaux sont assez abondants, et il en existe qui paraissent être aujourd'hui tout à fait caractéristiques. Tels sont la *calcéole* (fig. 198), analogue aux spirifères, peut-être la *clymenia linearis* (fig. 199), qui est une coquille chambrée à siphon ventral. On y observe aussi quelques bivalves particulières telles que (fig. 200), quelques brachiopodes et entre autres la *terebratula porrecta* (fig. 201), en outre de beaucoup de coquilles qui se trouvent dans la partie calcaire du terrain.

§ 235. Le terrain dévonien est extrêmement répandu dans la nature. En France, on le reconnaît en Bretagne, principalement le long de la Loire et du canal de Brest, dans la Mayenne et dans la Sarthe où le calcaire devient prédominant autour de Sablé. On le retrouve dans la Belgique, au Harz, dans la Bohême, la Saxe, etc. Il existe dans les Pyrénées, dans les carrières de Caunes, au pied de la montagne Noire, dans la vallée de Campan, et dans plusieurs autres parties de cette vaste chaîne. On le retrouve en Suède, en Russie, et peut-être en Sibérie et jusque dans l'Amérique septentrionale. On peut e soupçonner dans plusieurs parties de l'Asie méridionale.

Les dépôts qui constituent ce terrain sont chacun plus ou moins développés suivant les localités. En Angleterre, ce sont en général les grès qui dominent ; ils forment des dépôts immenses de puissance et d'étendue, depuis le Cornouailles jusqu'aux Grampians, puis

en Écosse jusqu'aux îles Shetland. En Russie, ils forment toute la Courlande, d'où ils se prolongent d'un côté jusqu'à la mer Blanche ; de l'autre, au nord-est, jusqu'à Voronéje : ils entourent tout le groupe scandinave. Ailleurs, ce sont les calcaires qui s'étendent excessivement, comme dans le Glamorgan, le Derbyshire, le Northumberland, dans la Belgique, en Russie, où ils forment un bassin considérable, de Moscou jusqu'à la mer Blanche, une longue et large bande le long de l'Ural, enfin un petit bassin au sud sur le Donetz, rivière qui se jette dans la partie basse du Don.

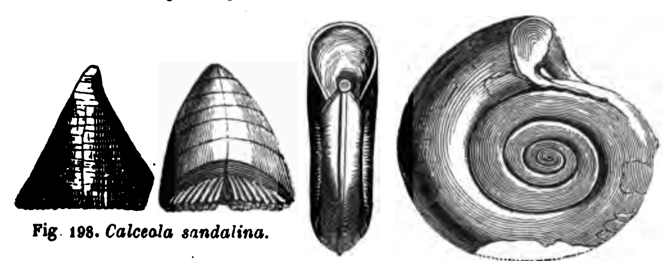


Fig. 198. *Calceola sandalina.*

Fig. 199. *Clymenia linearis.*

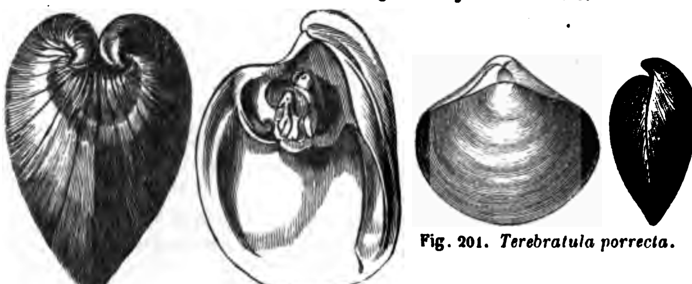


Fig. 200. *Megalodon cuculatus.*

Fig. 201. *Terebratula porrecta.*

§ 236. **Calcaire carbonifère.** — Lorsque le calcaire vient à dominer parmi les autres dépôts de terrain dévonien, on le désigne souvent par des noms différents suivant les localités. En Angleterre, il prend celui de calcaire de montagne (*mountain limestone*), de calcaire métallifère (*metalliferous limestone*), à cause des richesses minérales qu'il renferme en Derbyshire. En Belgique on le nomme calcaire anthraxifère, ou calcaire carbonifère, parce qu'il est coloré par le charbon. On l'avait même nommé calcaire bitumineux, dans la persuasion qu'il renfermait du bitume, ce qu'on avait conclu de

l'odeur qu'il offre fréquemment lorsqu'on le brise, ou même lorsqu'il est chauffé. C'est cette dernière variété qui fournit les marbres noirs de Dinan et de Namur, le marbre des Écaussines, ou petit granite, qui est rempli de fragments d'encrinites, différents marbres, veinés et coquilliers, souvent remplis de polypiers, qui sont transportés à Paris sous le nom général de *marbres de Flandre*, et dont les plus solides sont le *saint-anne* et le *rancé*, qui se lient particulièrement aux grès du Condros.

Ces calcaires renferment un grand nombre de polypiers et de coquilles fossiles. On y trouve l'*amplexus coralloïdes* (fig. 202), surtout dans les dépôts des environs de Sablé dans la Sarthe; le *cyatophyllus cæspitosus* (fig. 203); beaucoup d'espèces d'*encrinites* de la division des crinoïdes (fig. 204); l'*orthoceras lateralis* (fig. 205); des *goniatites* (fig. 206), sorte de coquilles chambrées à cloisons anguleuses; des *bellérophons* analogues aux argonautes (fig. 207); des *évomphales* de diverses espèces (fig. 208); le *spirifer glaber* (fig. 209); le *productus Martini* (fig. 210), etc.

Les dépôts de cette formation sont quelquefois principalement formés de matières arénacées, et presque semblables à celles des terrains houillers. C'est ce qui a lieu dans le Northumberland, dans les environs d'Édimbourg, dans le bassin du Donetz et dans la partie occidentale des Alleghanis en Amérique. Les dépôts charbonneux qu'on y trouve deviennent, à ce qu'il paraît, plus bitumineux que les anthracites des parties dévoniennes inférieures.

C'est dans cette variété du terrain carbonifère que le docteur Hibbert a trouvé, dans les environs d'Édimbourg, les débris d'énormes poissons, qu'on a nommés poissons sauroïdes, dont les dents fortes et striées longitudinalement, aussi bien que tout le reste du système osseux, rappellent les reptiles des plus grandes dimensions. La figure 211 représente une portion de machoire, très-réduite,



Fig. 211. *Mâchoire inférieure d'holopticus Hibberti.*

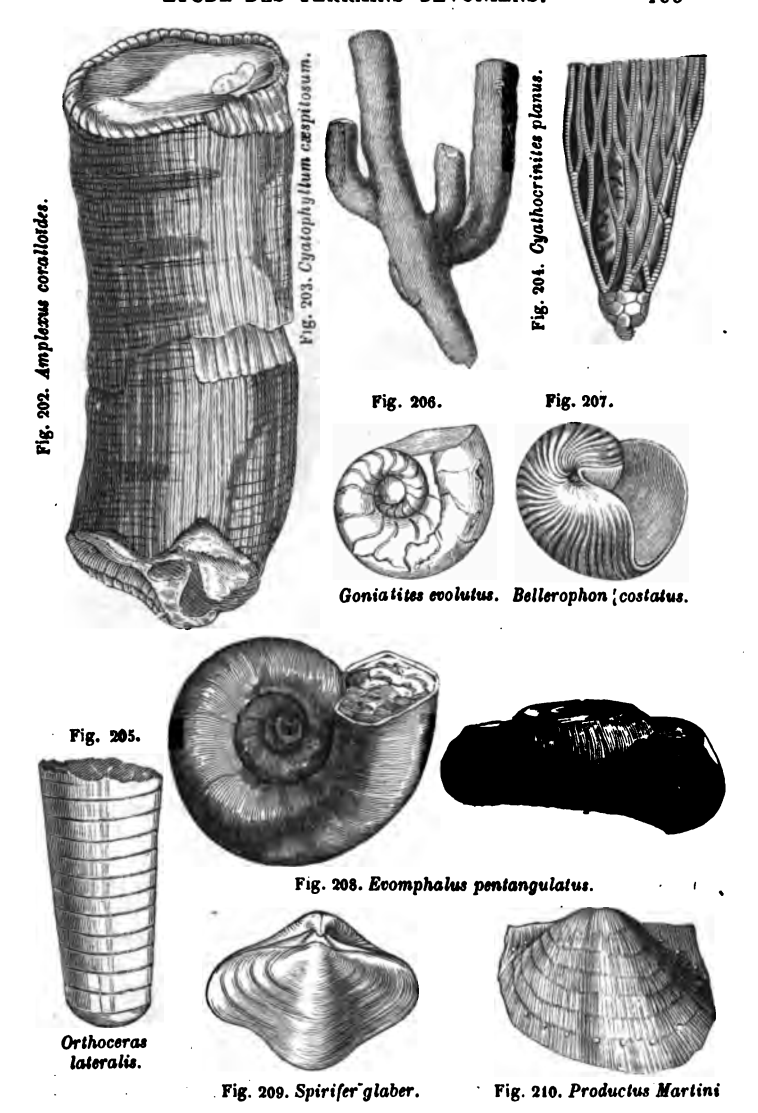


Fig. 202. *Amplexus coralloides.*

Fig. 203. *Cyatophyllum cæspitosum.*

Fig. 204. *Cyathocrinites planus.*

Fig. 206. *Goniatites evolutus.*

Fig. 207. *Bellerophon costatus.*

Fig. 205. *Orthoceras lateralis.*

Fig. 208. *Evomphalus pentangulatus.*

Fig. 209. *Spirifer glaber.*

Fig. 210. *Productus Martini*

d'une des espèces de ces êtres voraces, et la figure 212, une dent de grandeur naturelle d'une autre espèce Le calcaire qui les renferme offre aussi des concrétions phosphatifères qu'on regarde comme leurs excréments, et qu'à cause de cela on nomme *coprolites*, (fig. 213). La famille des squales était aussi représentée, mais alors par la division des *cestracions*, caractérisée par les dents propres à broyer (fig. 214), ou par celle des *hybodons*, à dents conoïdes, non tranchantes, dont l'émail est plissé sur les deux faces (fig. 215). Les vrais squales, à dents aplaties et tranchantes sur les bords (fig. 216), n'existaient pas encore, et n'ont apparu que beaucoup plus tard dans les terrains crétacés.

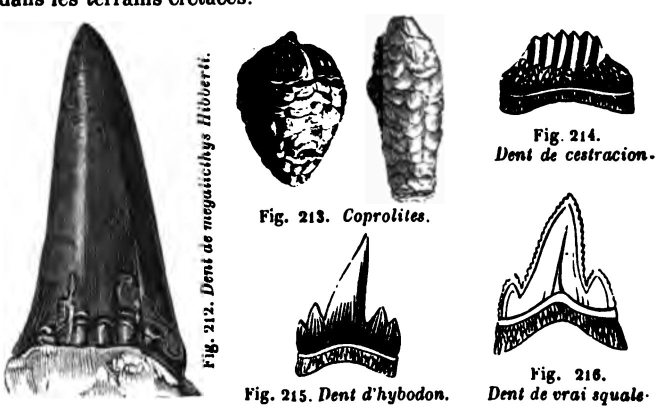


Fig. 212. *Dent de megalichthys Hibberti.*

Fig. 213. *Coprolites.*

Fig. 214. *Dent de cestracion.*

Fig. 215. *Dent d'hybodon.*

Fig. 216. *Dent de vrai squale.*

§ 237. **Terrain houiller.** — Le terrain houiller est formé principalement de grès, qui résultent d'une accumulation de grains de quarz et de feldspath réunis par un ciment argileux plus ou moins micacé, et rarement calcarifère. Ces grès reposent immédiatement sur le calcaire carbonifère en Angleterre, en Belgique, ainsi que dans les parties voisines du territoire français; mais dans le reste de la France ils se trouvent dans de vastes dépressions des terrains de cristallisation, et ils commencent ordinairement par des poudingues formés des roches de la contrée et qui en renferment parfois des blocs gigantesques. Quelquefois des poudingues plus fins alternent à plusieurs reprises avec des grès, qui cependant finissent toujours par constituer la partie principale du dépôt. Ces grès présentent de nombreuses variétés sous le rapport de la grosseur des grains et de la quantité de matières argileuses qu'ils renferment; ils sont fréquemment micacés et schisteux, ou renferment des couches

d'argile schisteuse et de schistes bitumineux qui sont quelquefois d'une grande épaisseur. Les amas de houille y sont disséminés aussi bien dans les parties grossières que dans les parties schisteuses, et cependant sont toujours séparés des grès par des lits d'argile ; ceux-ci sont d'abord à peu près purs, puis se trouvent mélangés avec le combustible, et enfin se représentent encore seuls par-dessus.

§ 238. *Débris organiques.* — Outre la houille, formée par une accumulation de végétaux décomposés, dont, au microscope, on reconnaît les débris (§ 148), les dépôts houillers présentent un grand nombre de plantes qui ont conservé leurs caractères : ce sont des tiges et des troncs d'arbres disséminés dans les grès, des feuilles diverses qui ont laissé leurs empreintes dans les schistes et les argiles. Ces débris se rapportent aux fougères, aux équisétacées, aux lycopodiacées, aux conifères, et à divers genres de plantes, entièrement perdus, qui se rapprochent de la famille des cycadées.

Les empreintes de fougères nous offrent des *pecopteris* (fig. 217), dont les folioles, peu détachées du pédicule, se réunissent quelquefois en une seule feuille découpée profondément, et ayant une nervure principale d'où partent perpendiculairement des nervures secondaires ; des *sphenopteris* (fig. 218), analogues aux précédentes, mais dont les folioles sont plus distinctes, profondément lobées, et où les nervures rayonnent presque de la base; des *nevropteris* (fig. 219), qui ont aussi les folioles détachées, mais entières et arron-

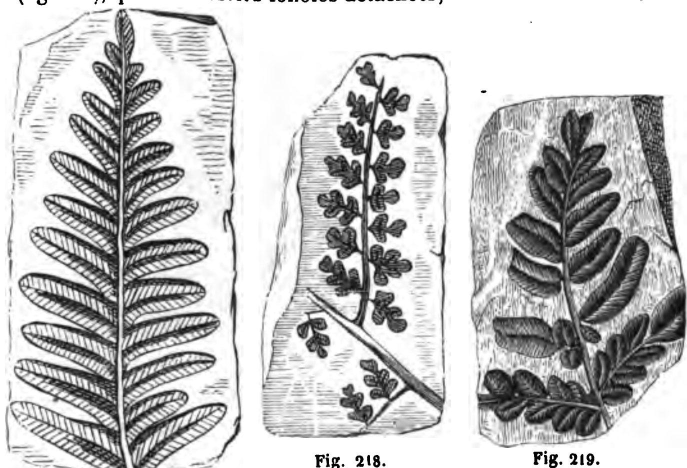
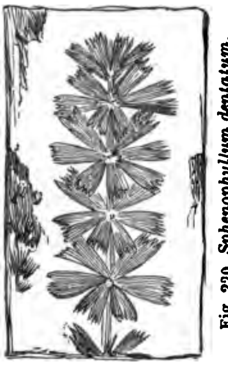
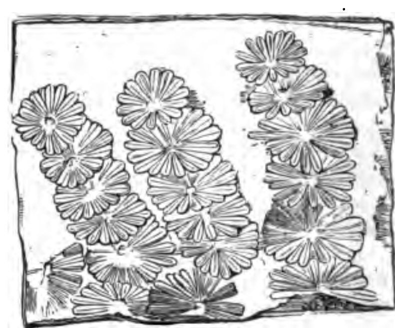


Fig. 217. *Pecopteris aquilina.* Fig. 218. *Sphenopteris Hœninghaussi.* Fig. 219. *Nevropteris Loshii.*

dies, où les nervures naissent très-obliquement de la nervure moyenne et se divisent ensuite à plusieurs reprises : enfin un grand nombre de genres fondés sur la forme des folioles et la disposition des nervures ; tels que des *sphenophyllites* (fig. 220), des *annularia* (fig. 221), etc., fort abondantes dans certaines localités.


Fig. 220. *Sphenophyllum dentatum.*


Fig. 221. *Annularia brevifolia.*

§ 239. Il paraît exister de véritables *equisetum* dans les terrains houillers ; mais on est conduit au moins à rapprocher de cette famille certains débris végétaux qui ont des caractères analogues. Ce sont des tiges cannelées qui présentent de distance en distance des articulations plus ou moins marquées, d'où naissent quelquefois des rameaux (fig. 222, 223). Ces tiges, désignées sous le nom de *calamites*, quoiqu'elles n'aient aucun rapport avec le *calamus*, ou rotang, de la famille des palmiers, se trouvent souvent, comme toutes celles dont nous allons parler, converties en matières argileuses, en carbonates de fer, rarement en silice.

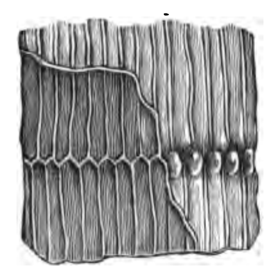


Fig. 222. *Calamites Suckovii.*


Fig. 223. *Calamites cannæformis.*

§ 240. On rapporte aux lycopodiacées divers débris de végétaux, désignés sous le nom de *lepidodendrons* (fig. 224, 225), dont on a trouvé quelquefois des arbres entiers qui avaient jusqu'à 20 mètres de hauteur. Leurs tiges sont caractérisées par des mamelons rhomboïdaux disposés en spirales, qui montrent clairement vers le haut les cicatrices des feuilles.



Fig. 224. *Lepidodendron crenatum.*



Fig. 225. *Lepidodendron elegans.*

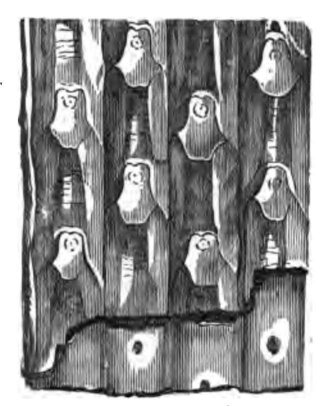


Fig. 226. *Sigillaria pachyderma.*

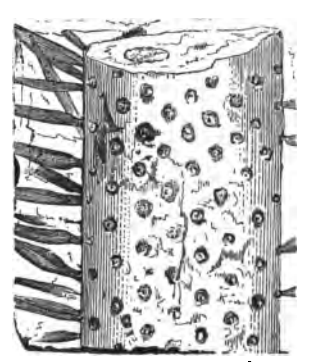


Fig. 227. *Stigmaria ficoïdes.*

§ 241. On croit pouvoir ranger auprès de la famille des cycadées les débris de végétaux désignés sous le nom de *sigillaria* (fig. 226). C sont, en général, des tiges qui paraissent avoir été aplaties par

la pression des terres, qui sont cannelées sur leur longueur, mais non articulées comme les calamites; elles sont garnies de cicatrices disposées par séries longitudinales, et non en spirales, comme dans les lépidodendrons. Les débris qui ont été nommés *stigmaria* (fig. 227), pourraient bien n'être, suivant M. Brongniart, que les racines de ces végétaux; le corps devait en être traversé par un axe ligneux qui était entouré de parties molles.

§ 242. Les plantes de la famille des conifères, par suite de la grande consistance de leur bois, paraissent avoir eu généralement une très-grande part dans la formation des matières charbonneuses qu'on trouve à toutes les hauteurs dans les différents terrains. Il en existe déjà dans les dépôts houillers eux-mêmes, spécialement dans les couches supérieures; et les débris dont on trouve les empreintes dans leurs schistes se rapprochent des *araucaria* par leurs feuilles sessiles disposées en spirale. M. Brongniart, qui a bien voulu nous guider dans l'indication des plantes fossiles propres à chaque terrain, et dans le choix des figures des espèces les plus caractéristiques, les rapporte toutes au genre *walchia*, établi par M. Sternberg, dont il a figuré ici deux espèces (fig. 228, 229), avec leurs feuilles et leurs fruits.

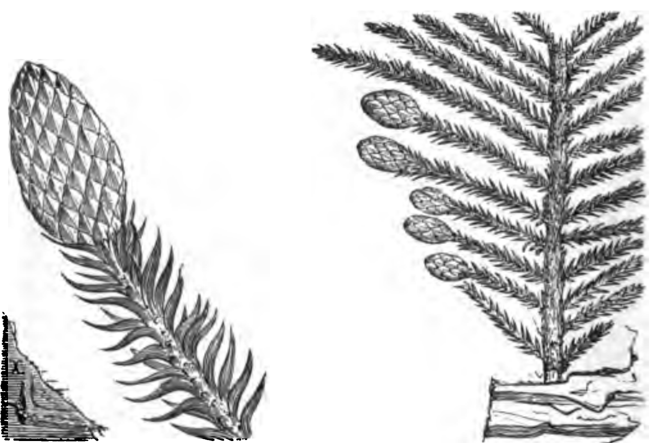


Fig. 228. *Walchia Schlotheimii.* Fig. 229. *Walchia hypnoides.*

§ 243. On connaît aussi quelques poissons dans les bassins houillers continentaux; soit dans les schistes bitumineux, comme à Sarrebruck et à Autun, soit dans les rognons de carbonate de fer, comme

à Saint-Étienne. Ces poissons appartiennent à des genres voisins de l'esturgeon, que M. Agassiz nomme *palæoniscus* et *amblypterus*, vivant probablement dans les ruisseaux qui serpentaient au fond des terrains anciens, où les grès et les combustibles se déposaient.

Les coquilles marines sont au moins rares dans le grès houiller, et il n'est pas certain que celles qu'on a citées en Angleterre et en Belgique appartiennent réellement à ces dépôts plutôt qu'aux terrains sur lesquels ils se sont formés § (236), ou tout au moins ne soient les restes de l'ancienne mer, où les matières se déposaient. On cite en même temps des *unio* et de petits entomostracés qui indiquent au moins des affluents d'eau douce dans les marais où ces dépôts se sont accumulés. Il est remarquable qu'on n'en trouve pas d'indications dans les houilleries continentales.

§ 244. *Étendue des terrains houillers.* — Ces terrains ne peuvent se montrer au jour qu'à la surface ou sur les bords des terrains mis à sec, et formés dès lors par les dépôts dévonien, silurien, cumbrien, ou ceux qui les ont précédés. S'il en existe au delà de cette limite, ils sont nécessairement cachés par toutes les matières postérieurement formées, et sous lesquelles on va quelquefois à grands frais chercher le combustible. De là il résulte que le terrain houiller occupe en général peu de place à la surface du globe. En France, tous les dépôts connus ne paraissent guère former que $\frac{1}{200}$ de la superficie de notre territoire. En Belgique, en Angleterre, ils sont relativement beaucoup plus étendus, beaucoup plus riches, car dans la première de ces contrées leur superficie est de $\frac{1}{24}$ de celle du royaume, et dans la seconde, de $\frac{1}{20}$. Les autres États de l'Europe sont au contraire beaucoup plus pauvres, et il en est même, comme la Suède, la Norvége, la Russie, l'Italie, la Grèce, qui sont presque entièrement privés de ces précieuses formations, bien qu'on puisse y trouver quelques dépôts qui appartiennent à l'anthracite des terrains dévoniens. La Bohême est en réalité la partie la plus riche de l'Allemagne, mais les exploitations n'offrent encore que de faibles produits. La partie nord de la péninsule hispanique paraît au contraire renfermer des dépôts de houille considérables et participer ainsi aux richesses de l'Europe occidentale.

§ 245. En France, les dépôts de houille sont, pour la plupart, concentrés autour du plateau central qui renferme le Morvan, le Bourbonnais, l'Auvergne et le Limousin, ou disséminés à sa surface. En commençant à Avallon, par exemple (fig. 230), on trouve à l'est de cette ville une bande de terrain houiller qui se dirige vers Semur, sur laquelle il a été fait quelques recherches. Plus loin se présentent les mines de Decize sur le canal du Nivernais, les dépôts des envi-

rons d'Autun et d'Épinac ; puis ceux qui longent le Canal du Centre, où se trouvent les exploitations du Creuzot, de Montcenis, Saint-Bérain, Blanzy, etc., et ceux de Bert et Montcambron, sur la même direction vers Lapalisse. Au nord-est de Roanne on trouve les dépôts de la Chapelle-sous-Dun ; puis en remontant, à l'ouest de Lyon, ceux de Sainte-Foy, de l'Arbresle, de Sainte-Paule ; enfin on arrive aux grands dépôts de Saint-Étienne et de Rive-de-Gier, qui se prolongent même sur la gauche du Rhône.



Fig. 230. *Carte des dépôts houillers de la France.*

Plus au sud, se présentent les dépôts d'Aubenas, ceux d'Alais, qui sont très-importants ; les petits dépôts du Vigan et des Vans, ceux de Saint-Gervais et de Ronjan, vers Lodève et Pézenas. Plus loin il n'y a plus que de faibles indices vers Perpignan, à Durban et Ségure ; mais si, à partir de Lodève, on longe la partie occidentale du plateau, on retrouve les dépôts houillers de Carmeaux, près d'Alby, des environs de Rodez, de la contrée d'Aubin et des environs de Brives. Sur le plateau même se présentent un assez grand nombre de dépôts dont la plupart se trouvent réunis sur une ligne droite dirigée de Mauriac vers Moulins, à l'extrémité nord de la-

quelle se trouvent les exploitations de Montagu, Commentry, Noyont, Fins, etc. C'est encore dans cette partie que sont les houillères de la vallée du Cher, entre Montluçon et Saint-Amand. Il existe aussi plusieurs autres bassins épars çà et là, comme ceux de Lapleau au sud-ouest d'Ussel, de Bourganeuf, d'Ahun au nord-ouest d'Aubusson, de Brassac au nord de Brioude et de Langeac au sud, tous deux dans la vallée de l'Allier.

§ 246. En sortant du plateau central nous n'avons plus de dépôts houillers que sur les limites de la France. Nous en trouvons d'abord dans le département du Var, d'un côté, au nord de Fréjus dans les montagnes de l'Esterel; de l'autre, entre Fréjus et Toulon, dans les montagnes des Maures. Il en existe dans la chaîne des Vosges, mais en petite quantité, au nord et au sud de Colmar. Ce n'est qu'au nord de la chaîne, au pied du Hundsruck, mais en dehors du territoire français, qu'il s'en trouve des dépôts considérables, qui probablement se prolongent dans le département de la Moselle sous les terrains postérieurs qui les recouvrent. Plus loin, viennent les grands dépôts de la Belgique, qui se prolongent en France sous tous les terrains postérieurs, jusqu'à Valenciennes, et peut-être par Arras jusqu'à l'extrémité occidentale du Pas-de-Calais, où des sondages ont fait découvrir la houille en divers points, et où se trouvent, au nord de Boulogne, les houillères de Hardringen.

Nous retrouvons des dépôts houillers dans la partie occidentale du Poitou, à Vouvant et Chantonnay; puis en Bretagne, autour de Quimper et jusqu'à la pointe de la presqu'île; il s'en trouve encore dans la Mayenne près de Laval, et enfin dans le département de la Manche, où l'on connaît les houillères de Litry et du Plessis, au nord-est et au nord-ouest de Saint-Lô. Il ne faut pas confondre ces divers dépôts de houille avec les anthracites des terrains dévoniens (§ 234, 236), dont ils se distinguent surtout parfaitement dans la Mayenne, en ce qu'ils reposent en stratification discordante sur les schistes anthracitifères.

§ 247. **Terrain pénéen.** — Dans quelques localités le terrain pénéen est en stratification discordante avec le terrain houiller; il se compose de plusieurs dépôts dont les plus bas offrent des grès généralement de couleur rouge, très-abondants en Thuringe, où ils prennent le nom de *rothliegende* ou *rothe todte liegende* (fond stérile rouge), parce qu'ils ne renferment aucun minerai et se trouvent au-dessous des couches où on en exploite. Ces grès existent aussi en Angleterre, où on les nomme *lower new red sandstone* (nouveau grès rouge inférieur) par opposition à l'*old red sandstone*

des terrains dévoniens (§ 234). En France, où ils sont simplement nommés *grès rouges*, ils n'ont qu'une faible étendue dans les Vosges, où, souvent même, ils sont cachés par le grès vosgien. Ces dépôts arénacés renferment des fragments anguleux ou arrondis de granite, de porphyre, de quarz, liés le plus souvent par une pâte argilo-ferrugineuse; mais ces parties grossières passent à des grès plus ou moins fins, qui sont souvent les seuls qu'on aperçoive. On n'y trouve que très-peu de restes organiques; on y indique seulement quelques débris de poissons et de reptiles en Angleterre, où les dépôts sont peu distincts, et des troncs silicifiés de conifères dans les Vosges et en Saxe.

Au-dessus du grès rouge se présente, dans quelques parties, ce qu'on nomme les *schistes bitumineux*, très-remarquables, surtout en Thuringe, par les minerais de cuivre qu'ils renferment, et qui leur ont fait donner le nom de *kupferschiefer* (schiste cuivreux). Il s'y trouve des débris de végétaux qui paraissent appartenir à la famille des algues, et un très-petit nombre de plantes terrestres qui appartiennent aux conifères. Plus haut, viennent des calcaires compactes, *zechstein* des Allemands, divisés en plusieurs assises par des marnes, et au milieu desquels se trouvent des dépôts salifères exploités en plusieurs lieux. Au-dessus, on connaît encore des calcaires cellulaires, des calcaires magnésiens plus ou moins friables, puis de nouveaux calcaires compactes, des marnes, des matières argileuses.

Tel est l'ensemble des couches que cette formation présente en Thuringe; les grès se prolongent dans divers points de l'Allemagne, et surtout dans toutes les parties orientales de la Russie, où on les a nommés *grès permiens*. Mais en Angleterre, toute la série se trouve presque entièrement remplacée par des calcaires magnésiens, *magnesian limestone*, qui s'étendent dans la partie orientale de l'île, depuis Nottingham jusqu'à Sunderland. C'est la seule partie importante du terrain, et elle renferme, comme en Thuringe, des dépôts salifères. En France, les dépôts pénéens nous manquent à peu près complétement, car les schistes bitumineux d'Autun, de Fins, etc., qu'on a comparés à ceux du Mansfeld, appartiennent à la partie supérieure du terrain houiller (§ 237).

§ 248. Ce que cette formation présente d'important, c'est qu'on y trouve pour la première fois des débris de reptiles sauriens, reconnus depuis longtemps dans les schistes cuivreux et de zechstein, puis dans le calcaire magnésien de l'Angleterre; ils sont voisins des genres vivants iguanes et monitor. On y trouve aussi des poissons des genres *palæoniscus* et *amblyperus*, analogues à ceux du

terrain houiller (§ 243), et qu'on ne rencontre plus au delà de la formation qui nous occupe. Enfin, il y a aussi des spirifères et des productus (fig. 231 à 233), surtout le *productus aculeatus*, qui, sous le nom de *graphites aculeatus*, a été regardé comme caractéristique en Allemagne et a fait quelquefois donner au zechstein le nom de gryphitenkalk, qu'on a, par cela même, confondu avec le lias (§ 257). Il s'y trouve encore beaucoup d'autres mollusques, ainsi que des débris d'encrinites, qui paraissent être assez analogues à ceux qu'on trouve dans le calcaire carbonifère

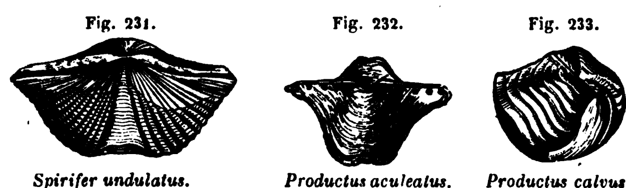


Fig. 231. *Spirifer undulatus.* Fig. 232. *Productus aculeatus.* Fig. 233. *Productus calvus*

§ 249. **Grès vosgien.** — Ce nouveau genre de dépôts, très-développé sur la partie orientale des Vosges et dans le Schwarzwald, a été longtemps confondu, tantôt avec le grès bigarré, tantôt avec le grès rouge, entre lesquels il se trouve placé. Mais, d'un côté, la stratification du grès bigarré est discordante avec celle du grès vosgien, et de l'autre, si ce dernier paraît à peu près concorder avec le grès rouge, il se trouve toujours placé au-dessus, où il forme des dépôts considérables dont la nature est très-caractéristique. On ne connaît pas ces grès dans le reste de l'Allemagne, mais peut-être en existe-t-il en Angleterre, à la base du grès bigarré, savoir : dans la partie la plus orientale du pays de Galles ; dans les comtés de Stafford et de Lancastre, autour des dépôts houillers; dans le Cumberland, dans l'anse formée par les calcaires carbonifères, où ils ont été indiqués comme représentant le grès rouge.

Le grès vosgien est entièrement composé de grains de quarz dont la surface est très-brillante et recouverte d'un enduit d'oxyde rouge de fer ou d'hydrate de cet oxyde; il n'a pas de ciment apparent comme le grès rouge, de sorte que souvent la masse en est friable ; cependant certaines parties forment des couches assez solides qui sont même exploitées comme pierres de taille. Enfin, les galets qu'on y trouve sont presque toujours de quarz, et quand on en rencontre de granite ou de gneiss, ils sont généralement décomposés. On n'a trouvé jusqu'ici que très-peu de débris organiques dans ces dépôts, et seulement quelques rares empreintes de calamites qui appartiennent à des espèces particulières. Les débris de coquilles ne se montrent

que dans les galets que ce terrain renferme, et par conséquent ils sont étrangers à la formation.

Il n'y a dans les Vosges, où ces dépôts se rencontrent principalement, aucune trace de calcaire pénéen ; seulement, on y remarque çà et là quelques rognons de calcaire magnésien, circonstance qui pourrait indiquer, ou que le calcaire pénéen manque dans les localités que nous connaissons, ou que le grès vosgien en est le représentant. On remarque en Angleterre que dans les lieux où le calcaire magnésien manque, la base du grès bigarré prend des caractères analogues à ceux du grès des Vosges.

§ 250. **Terrain keuprique, ou trias.** — Cette grande formation a été nommée *trias* parce qu'elle renferme trois parties principales, ce qu'elle a de commun avec plusieurs autres. Elle se compose de dépôts de grès et de marnes chacun très-varié de couleurs, ce qui a fait donner aux grès le nom de *grès bigarrés*, et aux marnes celui de *marnes irisées*. Un grand dépôt calcaire se trouve entre ces deux matières dans certaines localités, mais il n'existe pas partout ; il manque , par exemple, en Angleterre et dans presque toute la France. Nous ne le trouvons, en effet, que dans deux contrées, d'une part sur la pente occidentale des Vosges et dans la forêt Noire, d'où il se prolonge en Allemagne, où il est aussi parfaitement distinct, et de l'autre dans le département du Var; il est désigné sous le nom de *calcaire conchylien*, *muschelkalk* des Allemands, parce que c'était dans l'ancienne géologie de l'Allemagne le dépôt coquillier par excellence. Ce terrain se trouve en stratification discordante avec le grès vosgien , comme on le voit dans plusieurs localités.

Le *grès bigarré* est quarzeux, à grain fin, solide, le plus souvent de couleur rouge, mais quelquefois aussi mélangé de blanc, de bleuâtre, de verdâtre, ce qui produit la bigarrure qui a fourni le nom. On y trouve des dépôts stratiformes de matière très-argileuse, variée de couleur, et des couches minces de dolomie, surtout dans les parties supérieures.

Les *marnes irisées* sont composées, d'une manière très-variable, de couches calcaires plus ou moins marneuses et de couches d'argile lie de vin, verdâtre ou bleuâtre, qui alternent ou se mélangent de toutes les manières. Quelquefois la partie supérieure se termine par des grès , comme on le voit à Chessy près de Lyon et en Wurtemberg.

Ces deux membres particuliers du terrain de trias sont fréquemment les seuls qu'on trouve dans un grand nombre de localités. C'est ainsi qu'ils se font remarquer en Angleterre, où on les désigne par

l'expression *upper new red sandstone and red marl* (nouveau grès rouge et marne rouge supérieurs). En France, ce sont eux qu'on trouve le plus fréquemment et qui se présentent seuls par dépôts fort isolés les uns des autres dans les Basses-Pyrénées, l'Hérault, l'Aveyron, le Lot, le Tarn-et-Garonne, la Corrèze, surtout autour de Brives, la partie méridionale du Cher, la partie septentrionale de l'Allier et tout le pied des montagnes du Morvan, la partie centrale de la Manche.

§ 251. *Calcaire conchylien.* — Placé entre les deux dépôts précédents, le calcaire conchylien commence par alterner dans le bas avec le grès bigarré, tandis que dans le haut il se confond souvent avec les marnes irisées qui le recouvrent. Ce calcaire est en général, compacte, grisâtre, verdâtre ou jaunâtre, et tacheté de ces deux teintes; souvent il est magnésifère à sa partie supérieure, où d'ailleurs il est fréquemment terreux, et passe aux marnes qui vont suivre, parmi lesquelles se trouvent encore quelques lits de calcaire pur ou magnésien. Il présente souvent des silex en rognons plus ou moins étendus; enfin, il renferme une grande quantité de coquilles parmi lesquelles on peut citer comme caractéristiques l'*ammonite à nœuds* (fig. 234), l'*avicula socialis* (fig. 235), la *possidonia minuta* (fig. 236). Il s'y trouve aussi beaucoup d'*encrinites*, surtout de l'espèce *moniliformis* (fig. 237). C'est dans cette formation que se montrent aussi pour la première fois les *trigonies*





Fig. 234. *Ammonites nodosus.*





Fig. 235. *Avicula socialis.*

Fig. 236.



Possidonia minuta.

Fig. 237.



Encrinites moniliformis.

(fig. 238), dont les nombreuses espèces se prolongent ensuite jusque dans les dépôts crétacés.

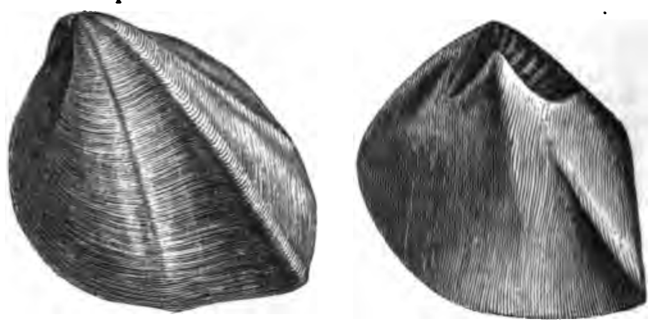


Fig. 238. *Trigonia vulgaris.*

Le calcaire conchylien est assez abondamment répandu dans la Lorraine, où il forme, avec les deux autres membres de la série triasique, toute la partie occidentale des Vosges; on le retrouve aussi sur la rive droite du Rhin, d'où il se prolonge en Allemagne, en couvrant un assez grand espace. Dans le reste de la France on ne le voit plus que dans la partie moyenne du département du Var, entre Brignolles, Toulon et Antibes.

§ 252. *Débris végétaux du trias.*— Les marnes irisées renferment des débris assez nombreux de plantes des genres *pterophyllum* (fig. 239) et *nilsonia*, qui paraissent pour la première fois et se rapportent aux cycadées. Les calcaires renferment des plantes du genre *mantellia*, de la même famille, et les grès des espèces parti-

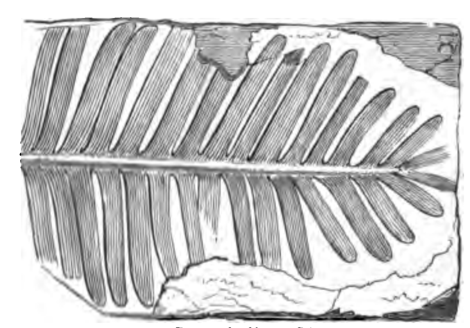


Fig. 239. *Pterophyllum Pleiningerii.*

culières de conifères qui constituent le genre *voltzia* (fig. 240). Les fougères d'espèces particulières se rencontrent encore quelquefois dans les localités assez nombreuses où se trouvent les dépôts charbonneux.



Fig. 240. *Voltzia heterophylla.*

§ 253. *Débris de reptiles.* — Il y a dans ces terrains plusieurs espèces de grands sauriens, qu'on a trouvés, d'une part à Lunéville, de l'autre dans le Wurtemberg et dans le pays de Bareuth. C'est aussi sur le grès bigarré qu'on a observé les empreintes de pas que nous avons citées (§ 161), dont les unes indiquent des oiseaux, et dont les autres, d'après les ossements trouvés plus tard, appartiendraient, suivant M. Owen, à d'énormes batraciens.

§ 254. *Dépôts adventifs* (voyez § 151). — Ces terrains offrent encore une nouvelle importance sous un autre rapport; c'est dans leur partie supérieure que se trouvent les dépôts salifères exploités en Lorraine, et toutes les sources salifères du Jura, comme aussi les dépôts de sel et les sources salifères en Angleterre et dans la plus grande partie de l'Allemagne. Ces dépôts sont toujours accompagnés de masses gypseuses plus ou moins abondantes, que l'on rencontre également seules dans un grand nombre d'autres localités, et notamment dans le midi de la France, partout où le terrain de trias est développé. Les parties supérieures arénacées se sont fait remarquer anciennement à Chessy, près de Lyon, par les dépôts d'azurite qui ont fourni pendant un temps de magnifiques échantillons à nos collections.

§ 255. **Terrain jurassique.**—Le terrain jurassique, ainsi nommé parce que les montagnes du Jura, qui en sont formées, ont souvent servi de terme de comparaison, occupe une étendue considérable en France, en Angleterre, en Allemagne, et dans toutes les parties de la terre. Il repose en stratification discordante sur le trias, comme on le voit près de Saint-Amand, sur la direction du canal de Berry, comme aussi sur le calcaire carbonifère dans le bas Boulonnais. Il se compose de dépôts alternatifs d'argile plus ou moins sableuse et de calcaires de diverses sortes, fréquemment oolitiques, ce qui lui a valu aussi le nom de *terrain oolitique*. Ses nombreuses assises sont partout concordantes, ce qui semble annoncer une longue période de tranquillité à la surface de l'Europe. Néanmoins, pour la facilité de l'étude, on peut, d'après divers caractères, diviser l'ensemble en deux systèmes, et chacun d'eux ensuite en plusieurs groupes.

§ 256. **Système du lias.**—Le système du lias, qui commence la série, peut être considéré comme composé de trois parties. La première, celle qui recouvre immédiatement le trias, présente des matières très-variées suivant les diverses localités. Dans certaines contrées, comme en Lorraine et dans le midi de la France, ce sont des grès qu'on nomme *grès du lias*, et qui passent à l'arkose (§ 227), dans différents lieux où ils reposent sur les granites, dont ils prennent en quelque sorte peu à peu les caractères; ils renferment différents dépôts métallifères, comme l'oxyde de manganèse en Bourgogne et en Périgord, l'oxyde vert de chrome près d'Autun, etc. Dans d'autres localités ce sont des calcaires de diverses sortes, comme en Normandie, dans la partie sud de la Bourgogne et dans le Lyonnais, quelquefois pétris de coquilles brisées et constituant des lumachelles plus ou moins solides, entremêlés ailleurs avec des marnes bleuâtres qui finissent aussi par dominer çà et là.

Au-dessus de ce premier dépôt se trouvent des calcaires compactes grisâtres et bleuâtres, en couches peu épaisses séparées par des lits de marnes feuilletées. C'est à ces calcaires, dont les caractères sont partout assez constants, qu'on donne plus particulièrement le nom de *lias* (prononcez *lëias*), ou de *calcaire à gryphée arquée*, parce que cette coquille s'y trouve en grand nombre.

Enfin dans la partie supérieure se trouvent des calcaires à bélemnites, renfermant peu ou point de gryphées, comme dans le Vivarais et la plus grande partie des Cévennes, ou des marnes qui déjà renferment des oolites ferrugineuses et se lient par là avec le système oolitique.

§ 257. *Coquilles caractéristiques du lias.* — Ce qui forme un

caractère très-important de ces premiers dépôts jurassiques, c'est l'apparition des bélemnites, dont, jusqu'alors, on n'a pas trouvé de traces; mais chaque couche, en outre, se distingue par quelques fossiles particuliers que nous allons indiquer.

Les assises inférieures sont caractérisées, suivant M. Leymerie, par la présence du *pecten lugdunensis* (fig. 241), et de diverses espèces d'échinides de la division des diadèmes (fig. 242).

Fig. 241.



Pecten lugdunensis.

Fig. 242.

Diadema seriale.

Les assises moyennes, ou le lias proprement dit, se distinguent surtout par la *gryphée arquée* (fig. 243), qui est souvent très-abondante, puis l'*ammonite de Buckland* (fig. 244), la *plicatule épineuse* (fig. 245), le *spirifère de Walcot* (fig. 246), par lequel la race s'éteint;



Fig. 243. *Griphæa arcuata.*



Fig. 244. *Ammonites Bucklandi.*



Fig. 245. *Plicatula spinosa.*

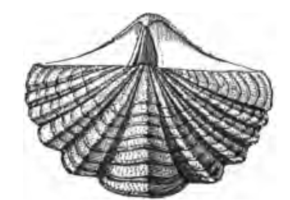


Fig. 246. *Spirifer Walcoti.*

enfin le *plagiostome géant* (fig. 247), qui est assez caractéristique.

La partie supérieure présente plus particulièrement un grand nombre de *bélemnites* (fig. 248 et 249), l'*ammonite de Walcot* (fig. 250), l'*avicule à valves inégales*, fig. 251, etc.

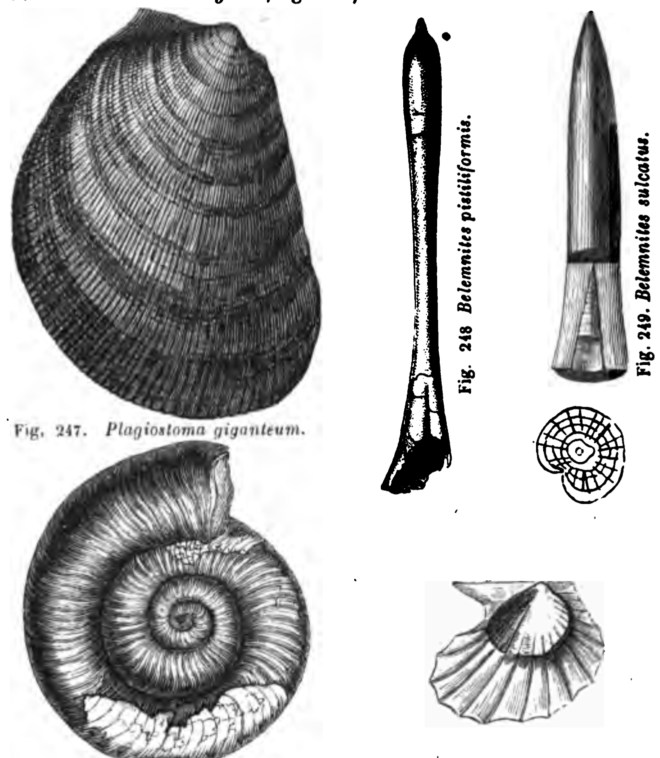


Fig. 247. *Plagiostoma giganteum.*

Fig. 248 *Belemnites pistilliformis.*

Fig. 249. *Belemnites sulcatus.*

Fig. 250. *Ammonites Walcoti.*

Fig. 251. *Avicula inæquivalvis.*

On trouve encore dans ce groupe diverses coquilles du genre *trigonie*, et par exemple (fig. 252), qui paraissent exister dans toutes les parties du dépôt; mais les espèces de ce genre, qui fourniraient peut-être des caractères fort importants, n'ont pas encore été assez étudiées sous le rapport du gisement. Elles se prolongent dans toute la série oolitique et jusque dans le terrain crétacé.



Fig. 252. *Trigonia clavellata.*

§ 258. *Reptiles du lias.* — C'est aussi dans le lias que se trouvent pour la première fois ces singuliers sauriens dont l'ostéologie rappelle à la fois les lézards, les crocodiles, les poissons, les mammifères, et dont les pieds, en forme de rames, annoncent une habitation tout aquatique : tels sont les *ichthyosaures* (fig. 253), dont quelques-uns devaient avoir plus de 7 mètres de long ; les *plésiosaures* (fig. 254), dont quelques individus n'avaient pas moins de 4 mètres, et si remarquables par la longueur de leur cou, qui ressemble au corps d'un serpent par la forme et la structure

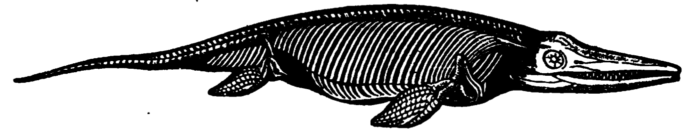


Fig. 253. *Ichthyosaurus communis.*

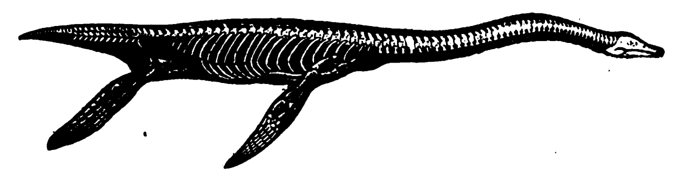


Fig. 254. *Plesiosaurus dolichodeirus.*

C'est également à cet étage de la série jurassique que se trouvent pour la première fois les *ptérodactyles* (fig. 255), genre de saurien volant que la forme de la tête et du cou rapproche des oiseaux, dont le tronc et la queue se rapportent aux mammifères ordinaires, tandis que les membres rappellent particulièrement ceux des chauves-souris. Ils étaient susceptibles à la fois de marcher et de voler, peut-être aussi de s'accrocher et de grimper sur les parois à pic des rochers pour chercher leur nourriture.

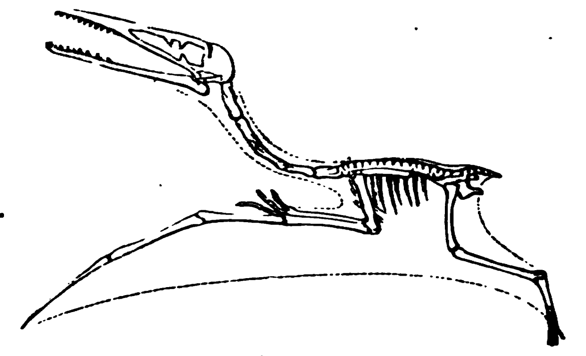


Fig. 255. *Pterodactylus longirostris.*

Ces divers débris des êtres les plus singuliers de la création sont accompagnés, dans le lias de Lime-Regis, sur la côte de Dorset, en Angleterre, d'une immense quantité de coprolites, qui probablement leur appartiennent; quelquefois aussi leurs intestins se trouvent encore au milieu de leur squelette, et on y remarque alors des restes de poisson et même d'autres reptiles, qui annoncent positivement la manière dont se nourrissaient ces espèces aquatiques. Quant aux ptérodactyles, les débris d'insectes qu'on a trouvés avec leurs dépouilles à Solenhonfen, en Franconie, indiquent sans doute aussi les animaux qui servaient de nourriture habituelle à ces êtres remarquables.

Les sauriens voisins des crocodiles, paraissent avoir été peu abondants à cette époque; néanmoins le lias en présente des débris qui prouvent déjà leur existence, et surtout un grand développement de dimension. Celui qu'on a nommé *mégalosaure*, qui tient à la fois du crocodile et du monitor, devait avoir 15 à 20 mètres de longueur.

Fig 256.



Poche d'encre de seiche.

§ 259. *Poches d'encre.* — Ces débris (fig. 256), qui rappellent les poches d'encre des seiches, et qui atteignent quelquefois un assez grand volume, nous présentent encore une haute importance. Ils se trouvent dans le lias de Lime-Regis, avec des osselets dorsaux de calmar qui en présentent parfois les traces, et aussi avec des bélemnites dans les cavités desquelles on en voit également; ils nous éclairent par conséquent sur la nature de ces derniers corps, et en indiquent l'affinité avec quelque céphalopode, dont ils étaient probablement des osselets internes. L'encre, ou *sepia*, qu'on peut en tirer est encore aussi bonne que celle qu'on prépare avec la seiche commune, et elle a servi avec succès pour le lavis.

§ 260. *Végétaux du lias.* — Le lias offre déjà quelques fruits de palmiers; mais la plupart de ses débris végétaux appartiennent encore à diverses espèces de fougères et surtout aux cycadées. On a pensé que c'était à l'accumulation de ces derniers qu'étaient dus les combustibles qu'on trouve en différents lieux dans les assises supérieures du groupe, comme au plateau de Larsac dans les Cévennes, et à Witby dans le Yorkshire; mais tout porte à croire que c'est plutôt aux conifères, dont le tissu est beaucoup plus ligneux, que sont dus particulièrement ces dépôts charbonneux, intermédiaires en quelque sorte entre la houille et les lignites.

§ 261. *Matières adventives.* — Ces terrains renferment aussi du gypse, qu'on exploite en diverses parties des Cévennes, des dépôts salifères exploités à Bex en Suisse, et des dolomies dans le voisinage des roches ignées (§ 181, 199 à 206). Dans les points où le grès du lias, reposant sur des roches cristallines, a pris le caractère particulier d'*arkose*, les calcaires qui le recouvrent renferment souvent aussi des dépôts métallifères, soit des minerais de peroxyde de fer, comme à la Voulte dans l'Ardèche; soit des minerais de plomb, comme dans la Lozère, l'Aveyron, le Lot, etc.

§ 262. **Système oolitique du terrain jurassique.** — Le second système des dépôts jurassiques présente une série de couches calcaires, souvent très-épaisses, qui offrent fréquemment le caractère oolitique, et qui sont entremêlées de couches de sable, d'argile et de marne plus ou moins considérables. Il peut se partager en plusieurs groupes qui se distinguent les uns des autres par leur position relative dans l'échelle de hauteur, et bien plus encore par les fossiles divers qu'on y trouve : tous les débris caractéristiques des groupes précédents ont entièrement disparu.

§ 263. *Groupe de la grande oolite.* — Ce groupe, par lequel commence la série des dépôts oolitiques, présente d'abord des couches marneuses entremêlées de sable, puis des couches d'oolites ferrugineuses, et des bancs, souvent très-épais, de calcaires compactes empâtant des oolites très-fines, des argiles plus ou moins pures et plus ou moins susceptibles de servir de terre à foulon. Le premier de ces dépôts marneux se lie avec les marnes du lias; mais il renferme une nouvelle espèce de *gryphée* (fig. 257), très-caractéristique

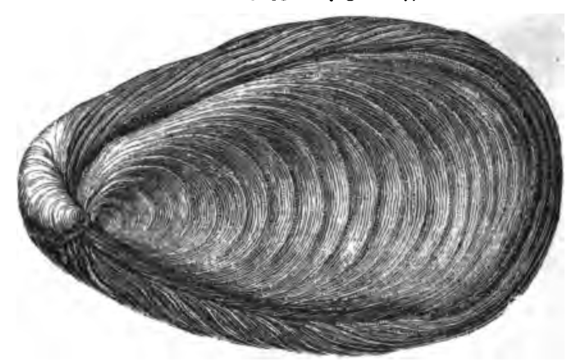


Fig. 257. *Gryphæa cymbium.*

qui ne se trouve pas dans les couches précédentes. Au-dessus se trouvent des marnes fissiles, des calcaires pénétrés d'oolites ferrugineuses auxquels succèdent les dépôts de grosses oolites lisses (*great oolit* des Anglais), ou des calcaires plus ou moins compactes, et même terreux et grossiers, quelquefois entièrement formés de débris d'encrinites. Plus haut viennent encore des marnes, des sables, des argiles, des calcaires plus ou moins grossiers, quelquefois remplis de coquilles, et formant des lumachelles : c'est ce que les Anglais nomment *Bradford clay*, *forest marble* et *corn-brash*.

Malgré les nombreux fossiles, mais souvent brisés et à l'état de moules, que renferme ce groupe, il est difficile d'en citer de bien caractéristiques, et nous n'aurions pas osé établir, sous ce rapport, les différences que présentent, en général, les diverses couches des dépôts jurassiques, sans les bienveillantes communications de M. Leymerie, professeur de la Faculté des sciences de Toulouse, qui a tant étudié ces terrains.

A la *gryphæa cymbium* (fig. 257), qui caractérise parfaitement le premier dépôt du groupe qui nous occupe, et en forme en quelque

sorte un nouvel horizon géologique, on peut ajouter encore l'*ostrea acuminata* (fig. 258), qui se trouve dans les marnes supérieures, ou les calcaires qui les remplacent, puis diverses *térébratules* (fig. 259 à 261), qui paraissent appartenir plus spécialement à l'oolite inférieure, ainsi que la petite espèce globuleuse d'*ammonites* (fig. 262).

Dans les couches calcaires proprement dites se trouvent diverses espèces d'*ammonites* (fig. 263); diverses espèces de *pleurotomaires* qui paraissent assez caractéristiques (fig. 264), et un grand nombre



Fig. 258. *Ostrea acuminata.*



Fig. 259. *Terebratula digona.*



Fig. 260. *Tereb. globata.*

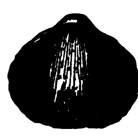


Fig. 261. *Tereb. spinosa*

Fig. 262. *Am. Brongniarti*



Fig. 263. *Amm. striatulus.*



Fig. 264. *Pleurotomaria conoidea*

de coquilles de diverses sortes. Les encrinites, souvent très-nombreuses, paraissent surtout se rapporter aux espèces piriformes (apiocrinites) et semblent quelquefois se trouver dans la place même où elles ont vécu, attachées aux matières consolidées qui composaient le fond des mers, et recouvertes successivement par les dépôts terreux qui se formaient.

§ 264. Les marnes et les calcaires fissiles qui commencent les couches oolitiques ont aussi présenté un fait important : c'est l'apparition des premiers mammifères fossiles, qu'on a découverts dans ce qu'on nomme les schistes de Stonesfield. Ces petits animaux, dont la figure 265 présente la mâchoire inférieure, appartiennent aux marsupiaux, c'est-à-dire à l'un des ordres les plus imparfaits de la classe. On a rencontré également, dans ces parties des terrains oolitiques, des ossements de grands animaux, qu'on a considérés comme appartenant à des cétacés.


Fig. 265. **Machoire du didelphus Bucklandi, double de nature.**


Fig. 266. *Brachyphyllum.*

Les conifères, qu'on ne trouve plus que rarement depuis le calcaire conchylien, se rencontrent assez abondamment dans la série oolitique, sous des genres particuliers (fig. 266), avec des cycadées (fig. 267), des fougères de diverses espèces, toutes différentes de celles qu'on rencontre dans les couches plus anciennes, et enfin un véritable *equisetum* (fig. 268).

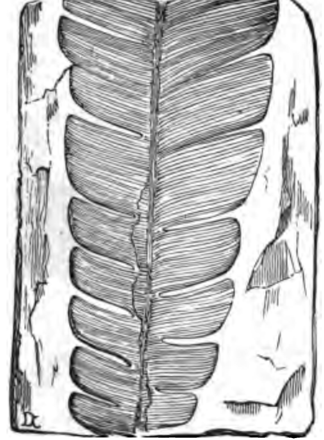


Fig. 267. *Pterophyllum Williamsonis.*

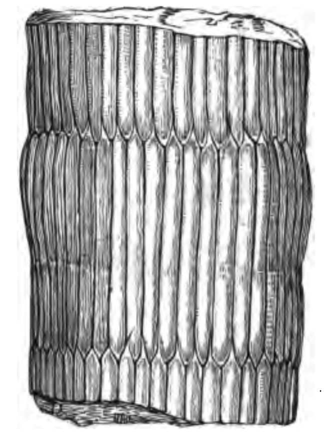
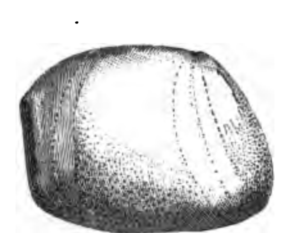


Fig. 268. *Equisetum columnare.*

§ 265. *Groupe oxfordien.* — Moins compliqué que le précédent, ce groupe offre d'abord de puissantes couches d'argile (*Oxford clay*) avec des dépôts plus ou moins marneux et des amas stratoïdes de calcaire. Au-dessus se trouvent des sables et des calcaires, terreux ou compactes, plus ou moins oolitiques et souvent ferrugineux. C'est dans ce groupe que se présentent les dépôts de fer oolitique, qui apparaissent déjà dans le groupe précédent, et qu'on exploite dans la Bourgogne, la Franche-Comté, la Lorraine; ils sont souvent très-riches en fossiles, surtout en ammonites, et l'on y cite l'*ananchites bicordatus* (fig 269) comme très-commune.



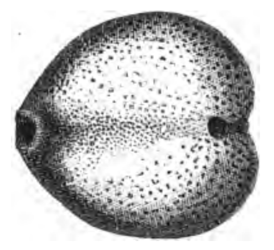


Fig. 269. *Ananchites bicordatus.*

Ce qui caractérise le groupe oxfordien, c'est la présence dans

les argiles, souvent en quantité assez abondante, d'une nouvelle espèce de gryphée (fig. 270), de l'*ostrea Marshii* (fig. 271), qui commence déjà dans le groupe précédent ; d'un assez grand nombre de térébratules diverses, parmi lesquelles se distinguent, dans les parties supérieures, la *terebratula Thurmanni* (fig. 272) et la *terebratula impressa* (fig. 273). Les moules des coquilles sont souvent siliceuses ; et l'on trouve, dans les diverses couches supérieures, des lits de boules siliceuses à tissu lâche, renfermant quelquefois des moules de coquilles, auxquelles on donne le nom de *chailles* dans la Haute-Saône, comme aussi des boules de calcaire compacte argilo-siliceux qu'on nomme *sphérites*. On a quelquefois regardé ces corps comme des débris organiques, ce qui paraît peu probable.

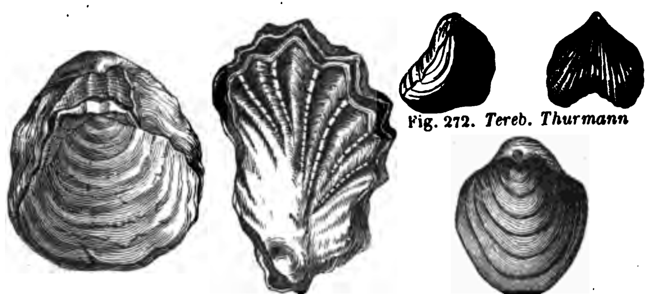


Fig. 272. *Tereb. Thurmann*

Fig. 270. *Gryphæa dilatata*. Fig. 271. *Ostrea Marshii*. Fig. 273. *Tereb. impressa*.

§ 266. *Groupe corallien*. — Celui-ci est presque entièrement calcaire ; il se partage en diverses assises épaisses qui se distinguent les unes des autres par leur structure. Les premiers dépôts sont ordinairement compactes, grisâtres ou jaunâtres, remplis de polypiers qui ont la structure saccharoïde, ou qui sont passés à l'état siliceux ; c'est le *coral rag* des Anglais. Les assises suivantes sont, les unes oolitiques, fréquemment à gros grains irréguliers, entremêlés avec des fragments de coquilles roulés ; les autres compactes, passant à l'état crayeux, ou même marneux, avec plus ou moins de solidité.

Les polypiers nombreux que renferme ce groupe nous présentent des caryophyllées, des astrées, des méandrines, des madrépores d'un grand nombre d'espèces, approchant plus ou moins de ceux que nous avons cités dans les rescifs (§ 120), avec beaucoup d'autres genres. Parmi les coquilles, les ammonites sont peu communes ; mais au-dessus des oolites, où tous les débris organiques sont

brisés, les premières couches renferment une grande quantité de coquilles diverses, parmi lesquelles on distingue les ***nérinées*** (fig. 274, 275). Les couches supérieures renferment une grande quantité d'*astartes* (fig. 276, 277), dont la plus caractéristique est l'*astarte minima*. Parmi les autres coquilles on peut citer le ***diceras arietina*** (fig. 278), et parmi les échinodermes, le ***cidaris coronata*** (fig. 279).

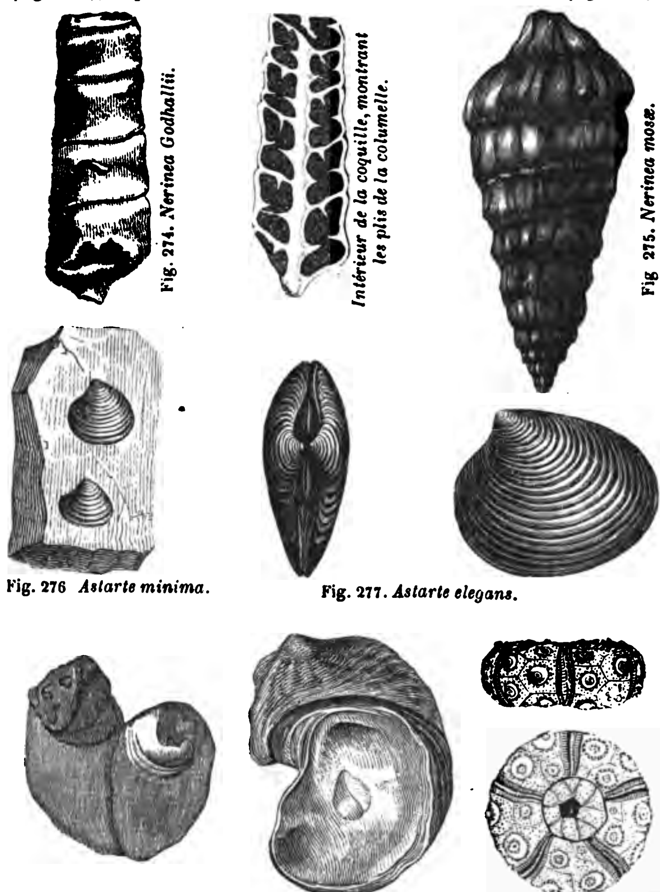


Fig. 274. *Nerinea Godhallii.*

Intérieur de la coquille, montrant les plis de la columelle.

Fig. 275. *Nerinea mosæ.*

Fig. 276 *Astarte minima.*

Fig. 277. *Astarte elegans.*

Fig. 278. *Moule et coquille de diceras arietina.*

Fig. 279. *Cidaris coronata.*

§ 267. *Groupe portlandien.* — Ce dernier groupe est séparé du précédent par de puissants dépôts d'argile (*Kimmeridge clay*) très-répandus partout, au-dessus desquels le terrain jurassique se termine par des alternances de calcaires compactes, marneux, sableux ou oolitiques à très-petits grains.

Les débris organiques qui caractérisent ce groupe sont des *huîtres* et des *exogyres* d'espèces particulières (fig. 280 et surtout 281), qui ne manquent jamais, et sont quelquefois d'une très-grande abondance. Du reste, avec quelques *ammonites*, on trouve des *myes*, des *pholadomyes*, des *térébratules* (fig. 282 à 284), qui sont également caractéristiques. Certaines couches de ces terrains renferment des *paludines* ou des *hélices*, qui indiquent par conséquent des cours d'eau douce dans les mers de cette époque.

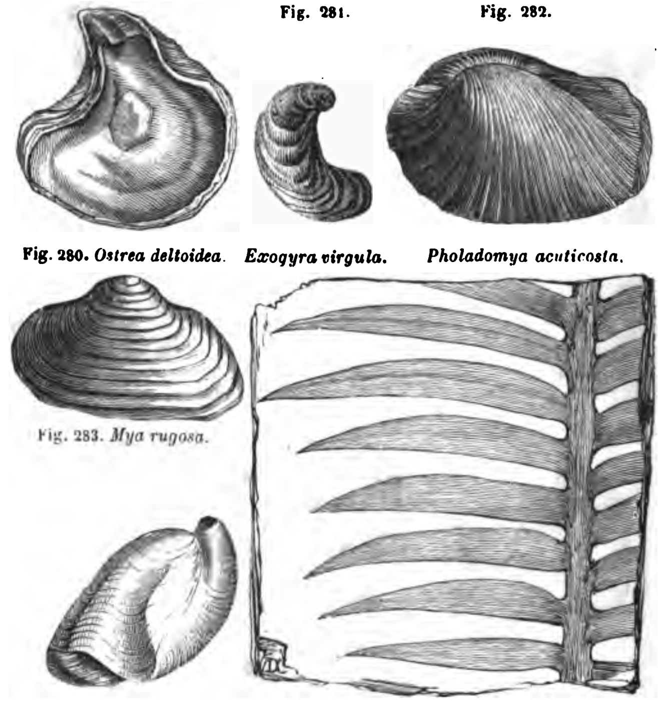


Fig. 280. *Ostrea deltoidea.* Fig. 281. *Exogyra virgula.* Fig. 282. *Pholadomya acuticosta.*

Fig. 283. *Mya rugosa.*

Fig. 284. *Terebratula sella.* Fig. 285. *Zamia feneonis.*

On rapporte à ces parties supérieures des dépôts jurassiques, la pierre lithographique de Solenhofen en Bavière, dans laquelle on a trouvé une immense quantité de fossiles, de reptiles et surtout de ptérodactyles (§ 258), de poissons, d'insectes, de plantes, etc.

Les argiles du groupe portlandien, et il en faut dire autant de celles du groupe oxfordien, renferment quelquefois de petits amas de matières combustibles, susceptibles parfois d'exploitation, ordinairement remplies de pyrites, et qui paraissent formées de conifères conservant le tissu ligneux (§ 292) ; il y a aussi des cycadées, dont on trouve les restes, fig. 285, dans les dernières couches calcaires du groupe, ou peut-être dans la partie inférieure des terrains crétacés.

§ 268. **Étendue du terrain jurassique.** — Les dépôts jurassiques sont très-abondants à la surface du globe. En France, ils forment une espèce de réseau indiqué dans la carte (fig. 286), par la teinte noire formée de hachures verticales. Une large bande s'étend des bords de l'Océan, vers la Rochelle, par Poitiers, Châteauroux,



Fig. 286. *Disposition du terrain jurassique en France.*

Bourges, Auxerre, Chaumont, Nancy, jusqu'à Luxembourg et Mézières, où elle se termine aux schistes anciens de l'Eiffel et des Ardennes (§ 233). Il s'y rattache, dans la partie occidentale, une bande étroite qui, du nord d'Angers, se dirige par Alençon, Argentan, Caen, jusqu'aux rochers du Calvados. Divers lambeaux liés entre eux par les directions, enveloppent le plateau central de la France, par Angoulême, Périgueux, Villefranche-d'Aveyron, Montauban, Rodez, Mende, Milhaud, Montpellier, Alais, Aubenas, Privas, d'où ils semblent rejoindre les lambeaux qui s'étendent de Lyon jusqu'à Beaune.

Ce sont ces calcaires qui constituent les montagnes du Jura, étendues de la hauteur de Vienne en Dauphiné jusqu'au Rhin, et qui se lient par Besançon, Vesoul, Langres, à la grande bande transversale. On les reconnaît dans toute l'étendue des Alpes de la Savoie, du Piémont et du Dauphiné, où ils présentent des caractères particuliers, et d'où ils se prolongent dans la Provence. On les retrouve à nu dans quelques points des Pyrénées; d'une part, en Espagne, de Bilbao à la hauteur de Pampelune; de l'autre, en France, entre la vallée d'Ossau et celle de l'Ariége. Çà et là, toutes ces bandes sont plus ou moins morcelées, quelquefois interrompues par les terrains plus récents qui s'étendent au-dessus d'elles, dans les parties basses qu'elles présentent.

Le lias domine en bande étroite sur le bord occidental des Vosges, et également tout autour de la partie granitique du Morvan, ou du plateau central de la France. Dans la Lorraine et en Bourgogne, il renferme beaucoup de gryphées arquées; mais dans le Vivarais ce sont les bélemnites qui le caractérisent.

Le groupe oxfordien est très-étendu dans la Franche-Comté et la Lorraine, dans le Poitou, dans le Quercy, dans les Cévennes et aussi en Normandie. Le groupe corallien forme une bande qui va de la Champagne dans la Bourgogne, le Bourbonnais, le Berry, et on le retrouve dans la Saintonge et le Quercy. Enfin, le groupe portlandien se présente sur la lisière extérieure de ces derniers dépôts.

§ 269. Dans les Alpes, le terrain jurassique est fortement modifié par l'apparition des matières cristallines qui en ont soulevé la masse de toutes parts (§ 199 à 206). Au lieu de calcaires ternes, grisâtres ou jaunâtres, compactes ou terreux, on rencontre des marbres colorés de toute espèce, quelquefois des marbres blancs veinés. Les dépôts argileux ou arénacés sont convertis en schistes divers, en grauwackes comparables à celles des terrains anciens, en quarzite, micaschiste, etc., et les matières charbonneuses qu'ils renfermaient sont passées à l'état d'anthracite.

§ 270. **Terrain crétacé inférieur.** — Au-dessus des terrains jurassiques viennent les immenses dépôts crétacés qu'on pourrait partager en plusieurs formations, d'après quelques discordances observées entre leurs assises, mais qu'on ne sépare encore qu'en deux : la partie inférieure, et la partie supérieure. La première présente divers étages que nous allons faire connaître.

§ 271. *Dépôts wealdiens.* — On nomme ainsi des dépôts signalés depuis longtemps en Angleterre, dans les parties des comtés de Kent, Surrey et Sussex désignées sous le nom de wealds. Ces dépôts, qui paraissent être les premiers de ceux dont nous avons à parler, se composent de couches alternatives de calcaire, de sables plus ou moins ferrugineux, et d'argile. Les couches calcaires sont composées de *paludines*, de *cyclades*, d'*anodontes* et d'*unio* (§ 143), qui forment entièrement ce qu'on nomme les *calcaires de Purbeck*, et annoncent une formation fluviale. Il y a de même plusieurs espèces de poissons et de tortues, également d'eau douce, mêlées à des sauriens marins et terrestres, parmi lesquels se trouve le monstrueux *iguanodons*, qui avait plus de 20 mètres de long, et que toute sa conformation rapproche des iguanes. On y reconnaît encore des débris d'oiseaux de l'ordre des échassiers, mais on n'y a pas vu de mammifères, quoiqu'on en ait déjà rencontré dans les marnes de la grande oolite (§ 264).

Le terrain wealdien renferme aussi des débris divers de végétaux. C'est là que se trouve la *couche de boue* de l'île Portland (§ 138), où l'on rencontre en place, à l'état siliceux, des troncs de cycadées (fig. 287), au milieu du terreau qui compose la masse du dépôt. On y connaît également diverses espèces de conifères, ainsi que des débris d'équisétacées et de fougères d'espèces particulières.



Fig. 287. *Mantellia nidiformis.*

On croit pouvoir rapporter aux dépôts wealdiens les argiles des environs de Boulogne, qui semblent faire suite à celles d'Angleterre, sur la côte méridionale du détroit, et même les argiles de Forges et de Savigny, dans le pays de Bray (Seine-Inférieure et Oise), où l'on a cité des calcaires à paludines analogues à ceux de Purbeck. M. Lory, professeur à la Faculté de Grenoble, vient de les découvrir dans les parties supérieures du Jura, et les croit à la base des dépôts néocomiens.

§ 272. *Dépôts néocomiens.* — Ces nouveaux dépôts se composent, dans certaines localités, de marnes ou d'argile, et de calcaires jaunâtres plus ou moins grossiers, caractérisés par le *spatangus retusus* (fig. 288), et beaucoup de débris de coquilles et de polypiers. Le calcaire est tantôt en couches continues assez épaisses, tantôt en

Fig. 288. *Spatangus retusus.*

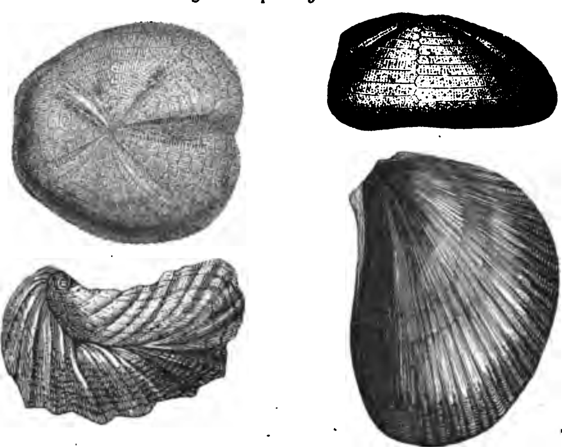


Fig. 289. *Exogyra subplicata.* Fig. 290. *Lima elegans.*

grandes lentilles au milieu des limons marneux et des sables, quelquefois il manque entièrement. Au-dessus de lui se trouvent des argiles grises renfermant une grande quantité d'*exogyres* (fig. 289), une grande espèce d'huître (*ostrea Leymerii*), souvent aussi le *lima elegans* (fig. 290). Ces argiles renferment de grandes lentilles calcaires remplies des mêmes coquilles, et qui offrent des lumachelles confondues avec celles d'*exogyra virgula*, du groupe portlandien (§ 267). Enfin, viennent, du moins dans la Champagne, la Picardie, le Boulonnais, des sables et des argiles, bigarrés de diverses couleurs, des amas de minerais de fer, ordinairement oolitique, qu'on exploite dans la Haute-Marne et dans l'Aube. Les coquilles ont alors presque entièrement disparu, et ne se montrent plus guère qu'auprès des amas ferrugineux.

Dans les parties méridionales de la Bourgogne et de la Franche-Comté, dans le Languedoc, le Dauphiné, la Provence, on trouve des dépôts puissants de calcaire, compacte ou terreux, blanchâtre ou coloré, qui, avec les mêmes espèces de fossiles, en renferment

beaucoup d'autres encore plus caractéristiques. Ici la *chama ammonia* (fig. 291), quelquefois très-abondante, mais toujours fort empâtée dans la roche; là, et surtout dans le Var, plusieurs espèces de *crioceratites* (fig. 292), d'*ancyloceras* (fig. 293), d'*hamites* (fig. 294), de ptycoceras (fig. 295). Les trigonies (fig. 296), qui s'y

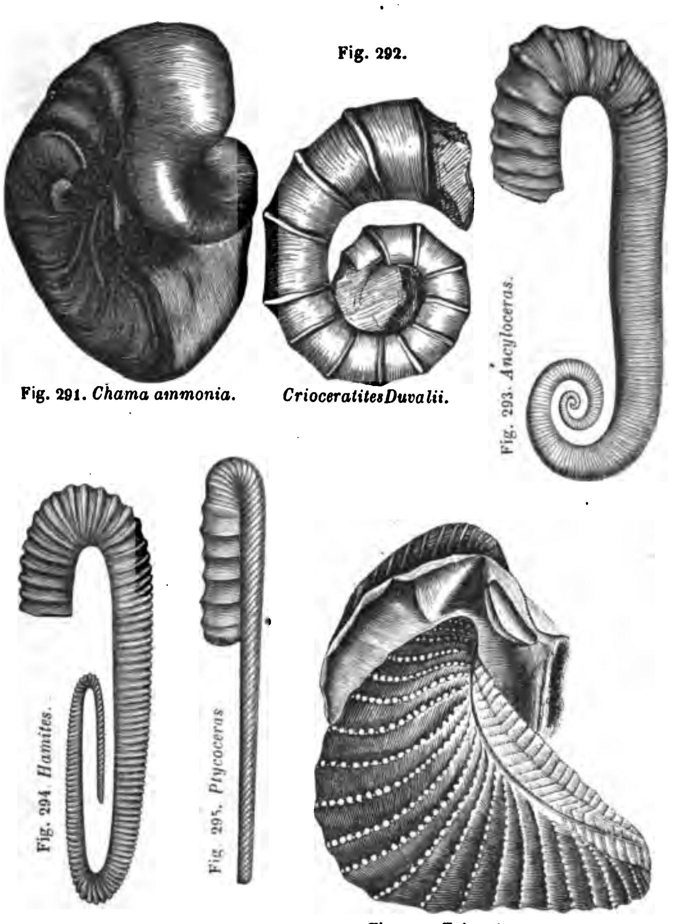


Fig. 291. *Chama ammonia.*

Fig. 292. *Crioceratites Duvalii.*

Fig. 293. *Ancyloceras.*

Fig. 294. *Hamites.*

Fig. 295. *Ptycoceras*

Fig. 296. *Trigonia alæformis.*

trouvent encore, et qui se continuent dans le grès vert, y présentent de nouvelles espèces.

Ce terrain qu'on n'avait pas d'abord distingué des autres parties de la formation crayeuse, ou dont certaines portions avaient été confondues avec les dépôts jurassiques, est aujourd'hui reconnu, par suite de ses fossiles et de sa position constante, comme formation distincte sur une grande partie du midi de la France, en Languedoc, en Dauphiné, dans les Basses-Alpes, et surtout dans le Var, en Suisse, dans différentes parties de l'Allemagne, en Pologne et jusque dans la Crimée.

§ 273. *Grès vert, craie tuffeau.* — Des sables blancs, jaunâtres, souvent très-ferrugineux, renfermant des amas calcaires ; des sables remplis de matières vertes en petits grains très-abondants, des couches calcaires, des marnes bleues ou *gault* des Anglais, des argiles, des grès calcarifères plus ou moins solides, remplis également de matières vertes, tels sont les divers dépôts souvent très-épais qui succèdent à ceux du terrain néocomien, y compris la formation wealdienne, et qui paraissent même en quelques points se trouver avec eux en stratification discordante, comme M. Leymerie l'a observé dans le département de l'Aube. On désigne en général l'ensemble de ces dépôts sous le nom de *grès vert*, *green sand* des Anglais, qui comprend certains *quadersandstein*, ainsi que le *plœner kalk* des Allemands.

Au-dessus des dépôts que nous venons de citer, la partie calcaire devient souvent plus abondante ; elle se trouve d'abord mélangée avec le grès, puis elle s'en isole petit à petit, et bientôt ne renferme plus que les grains verts, d'abord très-nombreux, mais qui diminuent ensuite successivement. Il en résulte alors ce qu'on nomme en général la *craie verte*, ou *craie chloritée*, qui est tantôt terreuse et tantôt assez solide. Les grains verts finissent enfin par disparaître totalement, le calcaire se trouve seul, tantôt présentant la craie pure, qui offre plus ou moins de solidité et devient quelquefois très-compacte ; tantôt offrant des calcaires argileux ou sableux, et enfin des sables ou des grès à peu près simples. C'est alors ce qu'on nomme la *craie tuffeau*, et divers dépôts qui en tiennent la place, ou qui lui succèdent.

§ 274. *Coquilles du grès vert et de la craie tuffeau.* — Ces sortes de débris organiques sont en général fort abondants au milieu des divers dépôts que nous venons de citer, et très-distincts par les espèces, souvent même par les genres, de tous ceux que nous avons décrits dans les terrains précédents. A la base même de ces nouveaux sédiments, on peut citer en France, aussi bien qu'en Angleterre, une

couche marneuse caractérisée par la présence d'une grande espèce d'*exogyre*, de 5 à 6 pouces de diamètre (fig. 297), qui n'a pas paru dans le terrain néocomien. Dans l'est de la France, cette bivalve est accompagnée de plusieurs coquilles particulières, et notamment la *plicatula placunea* (fig. 298), qui n'existe pas à d'autres étages. Dans le Var on y trouve encore quelques espèces très-particulières d'*ammonites* et d'*hamites* (§ 272). Quant aux argiles et aux grès, du grès vert proprement dit, on pourrait citer un grand nombre de fossiles caractéristiques, parmi lesquels se trouvent la *nucula pectinata* (fig. 299), l'*inoceramus concentricus* (fig. 230),

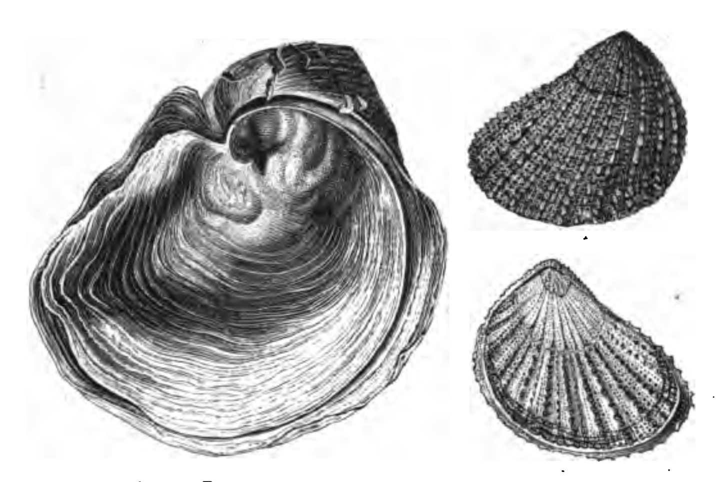


Fig. 297. *Exogyra sinuata*. Fig. 298. *Plicatula placunea*.

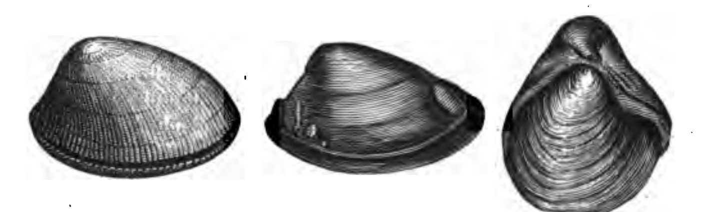


Fig. 299. *Nucula pectinata, coquille et moule*. Fig. 300. *Inocerma concentricus*.

plusieurs espèces d'ammonites, et notamment l'*ammonites monile* (fig. 301).

Dans la craie tuffeau nous avons déjà cité les baculites et les turrilites (fig. 302, 303). On peut ajouter les *scaphites* (fig. 304), quelques espèces d'ammonites (fig. 305, 306), puis l'*exogyra columba* (fig. 307), l'*ostrea carinata* (fig. 308), la *terebratula octoplicata* (fig. 309), qui se continuent aussi dans la craie blanche.

§ 275. *Débris de poissons.* — C'est dans ces terrains que commencent les vrais squales, qui ont remplacé les poissons sauroïdes du calcaire carbonifère (§ 236), et les sauriens nageurs du lias (§ 258). Leur taille a dû être considérable dans le principe, car dans nos espèces actuelles de 10 mètres de long, les dents n'ont pas plus de 4 à 5 centimètres de hauteur sur 5 à 6 de large à la base, et parmi les débris fossiles nous trouvons de ces organes qui ont jusqu'à 12 centimètres. On estime que l'animal qui les portait devait avoir 20 à 25 mètres, et que la gueule ouverte devait présenter 3 mètres de diamètre.

§ 276. **Terrain crétacé supérieur.** — Souvent les dépôts dont nous avons maintenant à parler se continuent régulièrement sur ceux de la formation précédente; mais en certains lieux, comme dans la partie orientale du Dauphiné et en Piémont, ils se trouvent avec eux en stratification discordante, ce qui trace naturellement la fin des uns et le commencement des autres.

Ces dépôts, sur de très-grandes étendues, se trouvent formés de l'espèce de calcaire terreux renfermant une grande quantité de foraminifères (§ 119, 146), qu'on nomme proprement *craie;* la partie inférieure est souvent mélangée de parties argileuses, et présente la *craie marneuse.* Au-dessus, la matière renferme un grand nombre de rognons de silex qui, par leur réunion, forment des espèces de lits, souvent répétés plusieurs fois sous de petites épaisseurs. Cependant, ce caractère, quoique très-commun, manque dans un grand nombre de lieux, soit que le dépôt auquel il appartient n'ait pas été développé, soit qu'il ait été formé dans des circonstances particulières à l'abri des sources thermales (§ 82, 113, 151), qui amenaient la matière siliceuse au milieu des sédiments.

Dans quelques cas la craie renferme une grande quantité de sables, et en certains lieux se trouve remplacée même par des grès. Quelquefois elle prend le caractère oolitique, et ailleurs elle fait place à des calcaires compactes et plus ou moins cristallins, blanchâtres, gris et de couleur variée.

§ 277. *Débris organiques.* — A l'exception des baculites (fig. 302), qu'on trouve encore à Maëstricht, les céphalopodes à cloisons per-

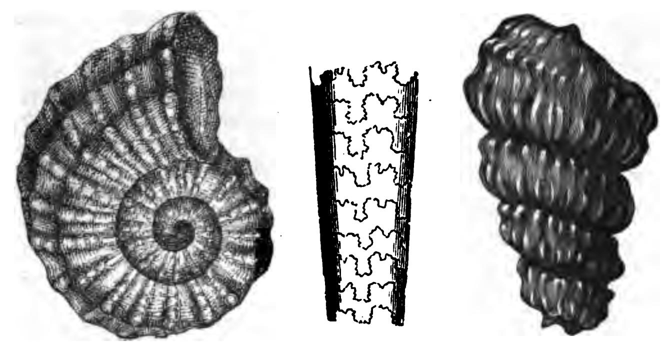


Fig. 301. *Amm. monile.* Fig. 302. *Baculite.* Fig. 303. *Turrilites costatus*

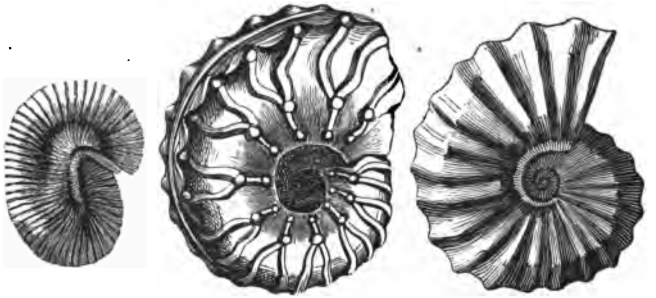


Fig. 304. *Scaphites æqualis* Fig. 305. *Ammonites varians.* Fig 306. *Ammonites rothomagensis.*



Fig. 307. *Exogyra columba.*



Fig. 308. *Ostrea carinata.*



Fig. 309. *Terebratula octoplicata.*

sillées ont complétement disparu dans les terrains crétacés supérieurs ; mais il reste des *bélemnites* d'espèces particulières, telles que le *belemnites mucronatus* (fig. 310), et beaucoup de débris organiques qu'on ne rencontre pas dans la craie tuffeau : on peut citer le *plagiostoma spinosum* (fig. 311), l'*ostrea vesicularis* (fig. 312) ; le *catillus Cuvieri* (fig. 313), dont la structure est fibreuse, la *terebratula Defrancii* (fig. 314) ; l'*ananchites ovatus* (fig. 315) ; le *spatangus cor anguinum* (fig. 316), et plusieurs autres échinites.

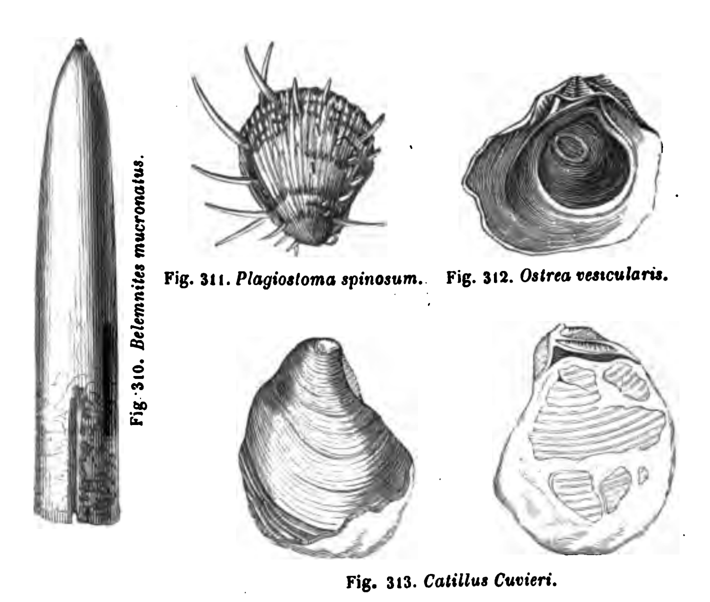


Fig. 310. *Belemnites mucronatus.*

Fig. 311. *Plagiostoma spinosum.* Fig. 312. *Ostrea vesicularis.*

Fig. 313. *Catillus Cuvieri.*

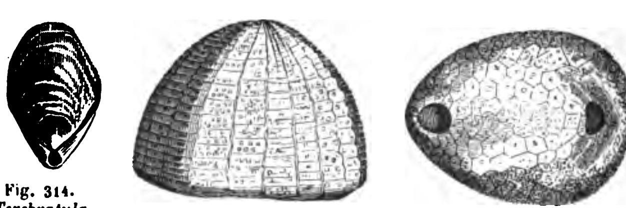


Fig. 314. *Terebratula Defrancii.*

Fig. 315. *Ananchites ovatus.*

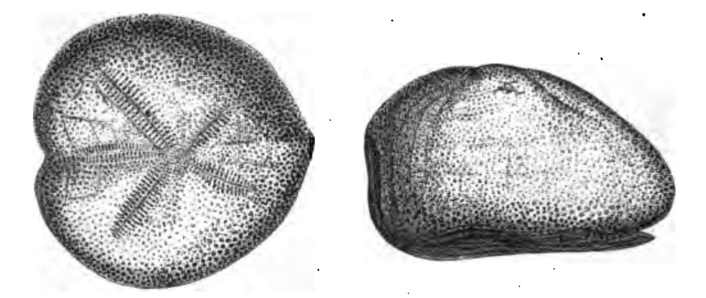


Fig. 316. *Spatangus cor anguinum.*

§ 278. La craie sableuse de Maëstricht, qui termine les dépôts crétacés supérieurs se fait remarquer en ce qu'avec les fossiles précédents elle en renferme d'analogues à ceux du calcaire parisien (§ 284); circonstance qui indique la fin d'un certain ordre de choses et le commencement d'un autre. C'est dans ce dépôt qu'on a trouvé l'énorme saurien, connu sous le nom d'animal de Maëstricht, qui n'avait pas moins de 8 mètres de long, et dont la tête, armée d'un formidable appareil dentaire (fig. 317) avait 1 mètre ½.

La craie nous offre aussi des débris de cétacés qui se rapportent aux lamantins et aux dauphins.

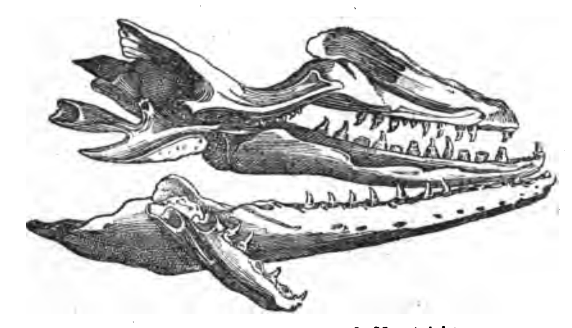


Fig. 317. *Tête du mosasaure de Maëstricht.*

§ 279. *Calcaire à hippurites.* — Le terrain crétacé supérieur présente, dans certaines localités, des coquilles remarquables par leurs formes et leur structure, qu'on a désignées sous les noms d'*hippu-*

rites, de *radiolites* et de *sphérulites* (fig. 318 à 320), dont il y a dans les Corbières (auprès des bains de Rennes, Aude) un gisement très-renommé par le nombre et la variété des espèces. Ces corps se trouvent tantôt dans des calcaires presque cristallins, ou compactes et comparables à ceux du Jura, tantôt dans des calcaires marneux, blancs, grisâtres ou noirs, plus ou moins décomposables à l'air, dans des grès calcarifères, quelquefois enfin dans la craie tuffeau. Non-seulement on en trouve dans les Pyrénées, principalement dans le



Fig. 318. *Hippurites rganisans.*



Fig. 319. *Spherulites ventricosa.* ou *Radiolites turbinata.*



Fig. 320. *Hippurites biloculata.*

groupe des Corbières, mais il en existe aussi dans les dépôts crétacés du Périgord, de l'Angoumois et de la Saintonge; on en indique dans la craie de Maëstricht, ainsi qu'en Hongrie et en Égypte. Le nombre de ces coquilles est souvent très-considérable, et les couches qui les renferment en paraissent parfois entièrement formées.

§ 280. *Calcaires à nummulites.* — Au-dessus des couches à hippurites des Corbières, et dans la même stratification, on trouve des dépôts puissants de calcaire qui sont souvent presque entièrement formés de nummulites (fig. 321). Ces dépôts ont cela de remarquable, qu'avec quelques fossiles des terrains crétacés, ils en renferment un grand nombre d'autres qu'on avait regardés jusqu'ici comme ne se trouvant que dans le calcaire parisien : telles sont des moules intérieures de cérites, de natices, de turritelles, de buccardes, etc., coquilles qu'on avait coutume d'indiquer comme caractéristiques des dépôts par lesquels on commence les formations tertiaires (§ 284).



Fig. 321. *Calcaire à nummulites des Pyrénées.*

Ces calcaires sont tantôt plus ou moins terreux, tantôt compactes, et souvent de couleurs foncées. Ils sont très-abondants, et d'une grande puissance, dans les Corbières, ainsi qu'à la montagne Noire, où ils s'appuient directement sur les tranches des schistes anciens. On les retrouve également tout le long de la chaîne des Pyrénées, en stratification concordante avec les couches qui appartiennent au terrain crétacé supérieur; ils se prolongent jusqu'à Bayonne. Ils existent aussi dans les Alpes, au mont Viso, qui forme la limite du Dauphiné, de la Provence et du Piémont, où ils sont en stratification discordante avec le terrain crétacé inférieur. Plus loin ils composent les terrains calcaréo-trappéens du Vicentin, et ils paraissent se retrouver en Corse. On les cite encore en Crimée, au Caucase, en Arménie, du pied de l'Ararat au Taurus. Ils sont aussi très-abondants en Égypte, où ils ont servi à la construction des pyramides, et constituent des variétés compactes, de couleurs grises, que dans

le principe on a rapportées aux calcaires jurassiques. On les indique aussi dans cette contrée comme liés intimement avec les calcaires à hippurites dans lesquels on cite en même temps des baculites (§ 274 à 277).

A la base de ces dépôts on trouve dans les Corbières et à la montagne Noire, des couches de marnes et de calcaires, atteignant parfois jusqu'à 10 mètres de puissance, dans lesquelles on rencontre des coquilles fluviatiles, tantôt seules, tantôt mélangées de coquilles marines. Il en résulte qu'il y a eu çà et là des affluents d'eau douce au milieu des mers de cette époque; et c'est peut-être aussi ce qu'indiquent les dépôts de lignite qui existent en divers points, et à peu près dans la même position.

Le calcaire à nummulites a été un sujet de discussion parmi les géologues ; les uns, attachant une grande importance à la présence des fossiles du terrain parisien, ont considéré ces dépôts comme formant la base des terrains tertiaires; les autres, donnant plus d'attention aux phénomènes qui résultent des grandes catastrophes dont notre globe a été le théâtre, et prenant d'ailleurs en considération la liaison qui existe entre ces dépôts et les couches à hippurites, les ont considérés comme terminant la série des terrains crétacés supérieurs, en les assimilant aux dépôts de Maëstricht, où le mélange des mêmes débris organiques se fait également remarquer (§ 277) : c'est cette dernière idée que toutes les observations paraissent faire aujourd'hui prévaloir.

§ 281. **Étendue des terrains crétacés.** — Les divers groupes de terrains dont nous venons de parler (§ 270 à 280), comme constituant les terrains crétacés, sont d'une étendue immense à la surface du globe. De l'Irlande et de l'Angleterre ils se prolongent en traversant la Manche, d'un côté, par la Normandie, la Touraine, la Sologne, la Saintonge et le Périgord, jusque dans les Pyrénées et la partie septentrionale de l'Espagne, dans les îles Baléares, etc. De l'autre côté, partant de la Normandie, ils s'étendent dans la Picardie, l'Artois, la Belgique, puis dans la Champagne, l'Auxerrois, le Blaisois, entourant ainsi de toutes parts le bassin de Paris. Ils se retrouvent dans plusieurs parties de l'Allemagne, en Danemark, en Suède, en Russie, dans la Pologne, la Podolie, la Gallicie, la Hongrie, où le grès vert compose la plus grande partie des Karpathes. On retrouve ces dépôts en Crimée, au Caucase et en Arménie, dans l'Asie Mineure et la Grèce, dans l'Albanie, la Dalmatie, l'Italie, la Sicile, puis dans toute la Provence et dans les Alpes, qu'ils entourent de tous côtés. Ils paraissent encore fort étendus en Égypte, où ils composent peut-être tout le fond du grand désert et les monta-

gnes qui le terminent. Ce sont les plus vastes dépôts de sédiment que nous connaissions, et leur épaisseur atteste encore de longues périodes de tranquillité, pendant lesquelles les mers d'alors se sont successivement remplies.

La carte générale (fig. 286) peut indiquer aussi, relativement à la France, la disposition des dépôts crétacés. Ils se trouvent, en effet, presque partout, à la partie extérieure des bandes jurassiques que nous y avons indiquées, d'un côté, vers le bassin au centre duquel se trouve Paris; d'un autre, sur les bords du bassin de la Garonne, tout le long des Pyrénées, sur la pente orientale des Cévennes, de Montpellier à Privas, le long des montagnes du Dauphiné, jusque dans la Provence. C'est, en général, le groupe inférieur qui domine dans la plus grande partie de cette étendue, et qui paraît même uniquement dans un grand nombre de localités. Le groupe supérieur ne se montre avec quelque abondance que dans la partie orientale du bassin de Paris, où il est, du reste, fréquemment caché par des dépôts subséquents; il ne forme au delà qu'une bande légère sur la pente des Pyrénées, et un groupe peu étendu dans la partie orientale du Dauphiné et de la Provence.

Les dépôts crétacés se trouvent souvent modifiés, comme les dépôts jurassiques (§ 269), par l'apparition des roches ignées et par les circonstances diverses qui accompagnaient leur sortie du sein de la terre : c'est ce qui est arrivé dans les Alpes et dans les Pyrénées, où ils présentent des caractères tels, qu'on les a longtemps regardés comme des terrains de transition. Ce fut un grand sujet d'étonnement lorsque M. Brongniart, par la comparaison des fossiles, fit voir que la montagne de Fis près de Chamounix, les Diablerets, au nord-est de Bex, et plusieurs autres parties des avant-postes des Alpes, appartenaient aux terrains des environs de Paris, et notamment à la craie.

§ 282. *Dépôts subordonnés ou adventifs des terrains crétacés.* — Nous avons déjà cité les minerais de fer de la Haute-Marne et de l'Aube, dans le terrain wealdien; nous devons ajouter de grands dépôts de lignites, comme ceux d'Orthès dans les Landes, de Bellesta et de Saint-Girons dans l'Ariége, d'Irun dans le Guipuscoa, etc., qui sont probablement formés de conifères, car il n'y avait pas encore de dicotylédones. Il existe aussi du gypse dans la craie même, d'une part dans la Charente-Inférieure et la Dordogne, de l'autre sur toute la pente des Pyrénées. Dans cette dernière région le gypse est en relation intime avec les ophites qui se sont fait jour à travers le terrain crétacé, et des sources salifères se rencontrent partout dans son voisinage. Il y a même des masses de sel gemme, comme

trouvent encore, et qui se continuent dans le grès vert, y présentent de nouvelles espèces.

Ce terrain qu'on n'avait pas d'abord distingué des autres parties de la formation crayeuse, ou dont certaines portions avaient été confondues avec les dépôts jurassiques, est aujourd'hui reconnu, par suite de ses fossiles et de sa position constante, comme formation distincte sur une grande partie du midi de la France, en Languedoc, en Dauphiné, dans les Basses-Alpes, et surtout dans le Var, en Suisse, dans différentes parties de l'Allemagne, en Pologne et jusque dans la Crimée.

§ 273. *Grès vert, craie tuffeau.* — Des sables blancs, jaunâtres, souvent très-ferrugineux, renfermant des amas calcaires; des sables remplis de matières vertes en petits grains très-abondants, des couches calcaires, des marnes bleues ou *gault* des Anglais, des argiles, des grès calcarifères plus ou moins solides, remplis également de matières vertes, tels sont les divers dépôts souvent très-épais qui succèdent à ceux du terrain néocomien, y compris la formation wealdienne, et qui paraissent même en quelques points se trouver avec eux en stratification discordante, comme M. Leymerie l'a observé dans le département de l'Aube. On désigne en général l'ensemble de ces dépôts sous le nom de *grès vert*, *green sand* des Anglais, qui comprend certains *quadersandstein*, ainsi que le *plœner kalk* des Allemands.

Au-dessus des dépôts que nous venons de citer, la partie calcaire devient souvent plus abondante; elle se trouve d'abord mélangée avec le grès, puis elle s'en isole petit à petit, et bientôt ne renferme plus que les grains verts, d'abord très-nombreux, mais qui diminuent ensuite successivement. Il en résulte alors ce qu'on nomme en général la *craie verte*, ou *craie chloritée*, qui est tantôt terreuse et tantôt assez solide. Les grains verts finissent enfin par disparaître totalement, le calcaire se trouve seul, tantôt présentant la craie pure, qui offre plus ou moins de solidité et devient quelquefois très-compacte; tantôt offrant des calcaires argileux ou sableux, et enfin des sables ou des grès à peu près simples. C'est alors ce qu'on nomme la *craie tuffeau*, et divers dépôts qui en tiennent la place, ou qui lui succèdent.

§ 274. *Coquilles du grès vert et de la craie tuffeau.* — Ces sortes de débris organiques sont en général fort abondants au milieu des divers dépôts que nous venons de citer, et très-distincts par les espèces, souvent même par les genres, de tous ceux que nous avons décrits dans les terrains précédents. A la base même de ces nouveaux sédiments, on peut citer en France, aussi bien qu'en Angleterre, une

couche marneuse caractérisée par la présence d'une grande espèce d'*exogyre*, de 5 à 6 pouces de diamètre (fig. 297), qui n'a pas paru dans le terrain néocomien. Dans l'est de la France, cette bivalve est accompagnée de plusieurs coquilles particulières, et notamment la *plicatula placunea* (fig. 298), qui n'existe pas à d'autres étages. Dans le Var on y trouve encore quelques espèces très-particulières d'*ammonites* et d'*hamites* (§ 272). Quant aux argiles et aux grès, du grès vert proprement dit, on pourrait citer un grand nombre de fossiles caractéristiques, parmi lesquels se trouvent la *nucula pectinata* (fig. 299), l'*inoceramus concentricus* (fig. 230),

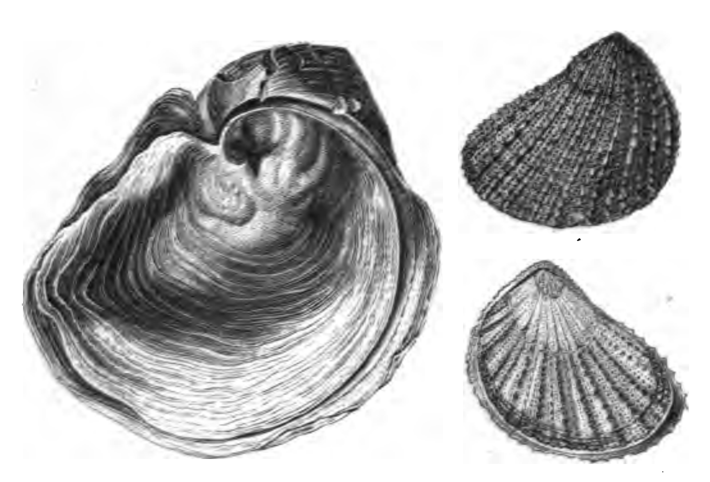


Fig. 297. *Exogyra sinuata*. Fig. 298. *Plicatula placunea*.

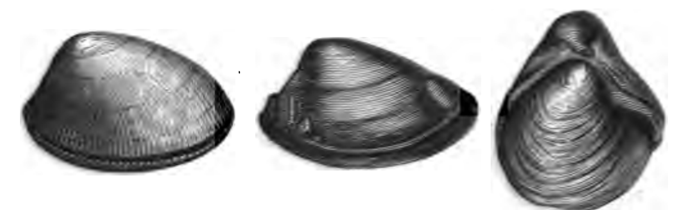


Fig. 299. *Nucula pectinata, coquille et moule*. Fig. 300. *Inocerma concentricus*.

plusieurs espèces d'ammonites, et notamment l'*ammonites monile* (fig. 301).

Dans la craie tuffeau nous avons déjà cité les baculites et les turrilites (fig. 302, 303). On peut ajouter les *scaphites* (fig. 304), quelques espèces d'ammonites (fig. 305, 306), puis l'*exogyra columba* (fig. 307), l'*ostrea carinata* (fig. 308), la *terebratula octoplicata* (fig. 309), qui secontinuent aussi dans la craie blanche.

§ 275. *Débris de poissons.* — C'est dans ces terrains que commencent les vrais squales, qui ont remplacé les poissons sauroïdes du calcaire carbonifère (§ 236), et les sauriens nageurs du lias (§ 258). Leur taille a dû être considérable dans le principe, car dans nos espèces actuelles de 10 mètres de long, les dents n'ont pas plus de 4 à 5 centimètres de hauteur sur 5 à 6 de large à la base, et parmi les débris fossiles nous trouvons de ces organes qui ont jusqu'à 12 centimètres. On estime que l'animal qui les portait devait avoir 20 à 25 mètres, et que la gueule ouverte devait présenter 3 mètres de diamètre.

§ 276. **Terrain crétacé supérieur.** — Souvent les dépôts dont nous avons maintenant à parler se continuent régulièrement sur ceux de la formation précédente; mais en certains lieux, comme dans la partie orientale du Dauphiné et en Piémont, ils se trouvent avec eux en stratification discordante, ce qui trace naturellement la fin des uns et le commencement des autres.

Ces dépôts, sur de très-grandes étendues, se trouvent formés de l'espèce de calcaire terreux renfermant une grande quantité de foraminifères (§ 119, 146), qu'on nomme proprement *craie;* la partie inférieure est souvent mélangée de parties argileuses, et présente la *craie marneuse.* Au-dessus, la matière renferme un grand nombre de rognons de silex qui, par leur réunion, forment des espèces de lits, souvent répétés plusieurs fois sous de petites épaisseurs. Cependant, ce caractère, quoique très-commun, manque dans un grand nombre de lieux, soit que le dépôt auquel il appartient n'ait pas été développé, soit qu'il ait été formé dans des circonstances particulières à l'abri des sources thermales (§ 82, 113, 151), qui amenaient la matière siliceuse au milieu des sédiments.

Dans quelques cas la craie renferme une grande quantité de sables, et en certains lieux se trouve remplacée même par des grès. Quelquefois elle prend le caractère oolitique, et ailleurs elle fait place à des calcaires compactes et plus ou moins cristallins, blanchâtres, gris et de couleur variée.

§ 277. *Débris organiques.* — A l'exception des baculites (fig. 302), qu'on trouve encore à Maëstricht, les céphalopodes à cloisons per-

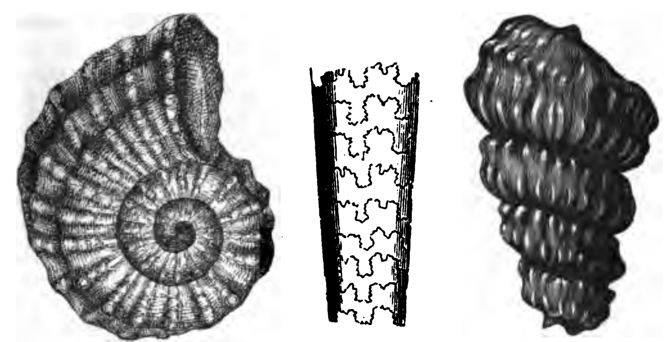


Fig. 301. *Amm. monile.* Fig. 302. *Baculite.* Fig. 303. *Turrilites costatus*

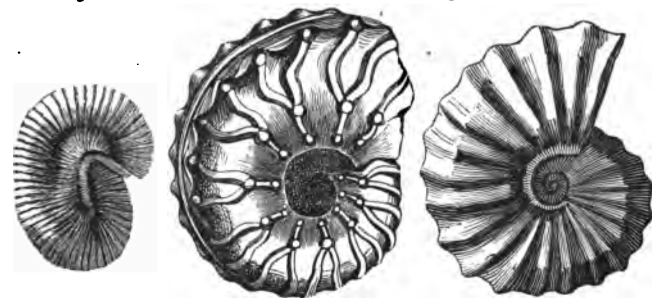


Fig. 304. *Scaphites æqualis* Fig. 305. *Ammonites varians.* Fig 306. *Ammonites rothomagensis.*



Fig. 307. *Exogyra columba.*



Fig. 308. *Ostrea carinata.*



Fig. 309. *Terebratula octoplicata.*

L'*anoplotherium commune* (fig. 330) était de la taille d'un âne, de forme lourde, à jambes grosses et courtes, ayant une longue queue. Il y en avait des espèces à jambes minces, qui dès lors devaient être sveltes et agiles; on en a trouvé d'autres qui n'avaient que la grosseur d'un lièvre ou même d'un cochon d'Inde, qui cependant étaient adultes.

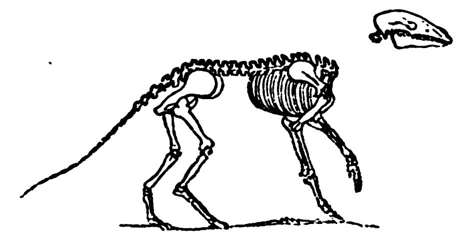


Fig 330. *Squelette d'anoplotherium commune.*

Le *paleotherium magnum* (fig. 331) était de la taille d'un cheval, et de la forme d'un tapir; mais parmi les espèces il s'en est trouvé et de plus grandes et de plus petites, èt même au-dessous de la taille d'un mouton.

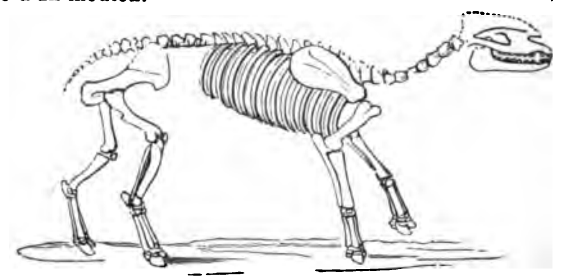


Fig. 331. *Squelette de paleotherium magnum.*

On a rencontré aussi avec ces animaux des débris de sauriens et de chéloniens, et ce sont les portions de carapace de ces derniers qui ont été citées pour des os de crânes humains avant qu'on se fût occupé sérieusement d'ostéologie comparée.

§ 287. *Terrain parisien d'Angleterre, de Belgique, du midi de la France.* — Comme nous l'avons dit, ce n'est pas le calcaire qui s'est développé en Angleterre; c'est une argile, l'*argile de Londres*, au milieu de laquelle se trouvent aussi la plupart des débris de mollusques qui forment le calcaire grossier parisien : l'argile plas-

tique est remplacée par des sables et des cailloux roulés renfermant des amas argileux. C'est à peu près aussi ce qui se présente en Belgique, où le sable se continue dans toute l'épaisseur du terrain, renferment seulement des nids calcaires plus ou moins étendus. Le calcaire siliceux, les meulières sans coquilles et le gypse manquent également de part et d'autre. Dans le midi de la France, c'est au contraire le calcaire grossier seul qui s'est développé, sans aucune de ses dépendances, et le gypse ne s'y trouve plus qu'en cristaux.

Il n'y a pas d'amas de combustibles dans les couches du terrain parisien postérieures à l'argile plastique, mais il s'y trouve un assez grand nombre de débris végétaux qui sont disséminés çà et là. Les uns appartiennent à des plantes marines, les autres à des plantes terrestres qui nous offrent des bois et des feuilles de palmiers et des empreintes de dicotylédones.

§ 288. *Étendue des terrains parisiens.* — Les dépôts de cette époque géologique sont beaucoup moins répandus à la surface de l'Europe que ceux dont nous nous sommes occupés jusqu'ici. Ils ne couvrent qu'un petit espace apparent en Angleterre, dans le bassin de Londres et dans le Southampton, un autre dans le bassin de Paris, où ils sont limités par l'Oise, Gisors, Mantes, Versailles, Arpajon, Montereau, Provins, Épernay, Laon, d'où ils s'étendent en Belgique; enfin, dans le bassin de la Gironde autour de Bordeaux. Du reste, ils sont souvent recouverts dans les mêmes contrées sur une plus grande étendue, où ils se montrent dans le fond des vallées sous les dépôts subséquents. Il est assez douteux qu'il s'en trouve en d'autres lieux de l'Europe; car divers points où ils ont été indiqués paraissent appartenir soit au dernier dépôt des terrains crétacés, comme ceux du Vicentin, etc. (§ 280), soit à la molasse ou même au terrain subapennin.

§ 289. **Terrain de molasse.** *Environs de Paris.* — Au-dessus des gypses et des matières argileuses qui les accompagnent, se trouvent des dépôts de sables souvent d'une très-grande épaisseur, les uns colorés par l'hydroxyde de fer, les autres blancs et purs. Ces sables forment souvent alors des masses de grès qui tantôt n'offrent aucun débris organique, ou seulement des coquilles roulées du calcaire grossier, tantôt, au contraire, renferment des coquilles qui ont assez souvent perdu leur test, et n'ont laissé que leurs empreintes. La forêt de Fontainebleau nous présente les grès purs qui servent au pavage de Paris; Montmartre et plusieurs points autour de la forêt de Montmorency, etc., nous offrent des grès coquilliers qui pourraient bien indiquer une autre formation.

Bourges, Auxerre, Chaumont, Nancy, jusqu'à Luxembourg et Mézières, où elle se termine aux schistes anciens de l'Eiffel et des Ardennes (§ 233). Il s'y rattache, dans la partie occidentale, une bande étroite qui, du nord d'Angers, se dirige par Alençon, Argentan, Caen, jusqu'aux rochers du Calvados. Divers lambeaux liés entre eux par les directions, enveloppent le plateau central de la France, par Angoulême, Périgueux, Villefranche-d'Aveyron, Montauban, Rodez, Mende, Milhaud, Montpellier, Alais, Aubenas, Privas, d'où ils semblent rejoindre les lambeaux qui s'étendent de Lyon jusqu'à Beaune.

Ce sont ces calcaires qui constituent les montagnes du Jura, étendues de la hauteur de Vienne en Dauphiné jusqu'au Rhin, et qui se lient par Besançon, Vesoul, Langres, à la grande bande transversale. On les reconnaît dans toute l'étendue des Alpes de la Savoie, du Piémont et du Dauphiné, où ils présentent des caractères particuliers, et d'où ils se prolongent dans la Provence. On les retrouve à nu dans quelques points des Pyrénées; d'une part, en Espagne, de Bilbao à la hauteur de Pampelune; de l'autre, en France, entre la vallée d'Ossau et celle de l'Ariége. Çà et là, toutes ces bandes sont plus ou moins morcelées, quelquefois interrompues par les terrains plus récents qui s'étendent au-dessus d'elles, dans les parties basses qu'elles présentent.

Le lias domine en bande étroite sur le bord occidental des Vosges, et également tout autour de la partie granitique du Morvan, ou du plateau central de la France. Dans la Lorraine et en Bourgogne, il renferme beaucoup de gryphées arquées; mais dans le Vivarais ce sont les bélemnites qui le caractérisent.

Le groupe oxfordien est très-étendu dans la Franche-Comté et la Lorraine, dans le Poitou, dans le Quercy, dans les Cévennes et aussi en Normandie. Le groupe corallien forme une bande qui va de la Champagne dans la Bourgogne, le Bourbonnais, le Berry, et on le retrouve dans la Saintonge et le Quercy. Enfin, le groupe portlandien se présente sur la lisière extérieure de ces derniers dépôts.

§ 269. Dans les Alpes, le terrain jurassique est fortement modifié par l'apparition des matières cristallines qui en ont soulevé la masse de toutes parts (§ 199 à 206). Au lieu de calcaires ternes, grisâtres ou jaunâtres, compactes ou terreux, on rencontre des marbres colorés de toute espèce, quelquefois des marbres blancs veinés. Les dépôts argileux ou arénacés sont convertis en schistes divers, en grauwackes comparables à celles des terrains anciens, en quarzite, micaschiste, etc., et les matières charbonneuses qu'ils renfermaient sont passées à l'état d'anthracite.

terrain parisien (§ 284). Du reste, il y a fréquemment la plus grande analogie entre ces nouveaux dépôts et les calcaires inférieurs avec lesquels ils ont été confondus; mais si l'on remarque ainsi un facies commun, si l'on trouve souvent les mêmes coquilles de part et d'autre, il y a cependant des différences essentielles. D'un côté, on ne trouve plus les espèces que nous avons indiquées dans les dépôts inférieurs, plus de *cerithium giganteum*, de *cardium porulosum*, etc.; de l'autre, on y rencontre de nouveaux débris, tels que le *balanus crassus* (fig. 335); le *rostellaria pespelecani* (fig. 336); le *pecten pleuronectes* (fig. 337), etc , que jamais on n'a trouvés dans le terrain parisien, mais qui existent dans le terrain subapennin, dont nous allons bientôt parler.

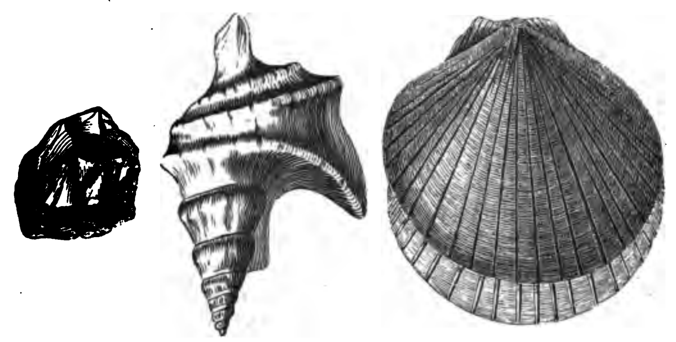


Fig. 335. *Balanus crassus.* Fig. 336. *Rostellaria pespelecani.* Fig. 337. *Pecten pleuronectes.*

§ 291. *Mammifères de la molasse.* — Les terrains qui se rapportent à cette époque de formation renferment encore diverses espèces de *paleotherium*. On y rencontre aussi plusieurs autres animaux qui constituent des genres dont on n'a trouvé aucune trace dans tout ce qui précède, et dont les espèces sont aujourd'hui perdues. C'est là en effet que se trouvent les débris de *mastodontes*, animaux analogues à l'éléphant, mais dont les dents (fig. 338) ont leurs couronnes hérissées de pointes coniques, au lieu d'être plates, ce qui les avait fait d'abord regarder comme appartenant à



Fig. 338. *Dent de mastodonte très-réduite.*

§ 272. *Dépôts néocomiens.* — Ces nouveaux dépôts se composent, dans certaines localités, de marnes ou d'argile, et de calcaires jaunâtres plus ou moins grossiers, caractérisés par le *spatangus retusus* (fig. 288), et beaucoup de débris de coquilles et de polypiers. Le calcaire est tantôt en couches continues assez épaisses, tantôt en

Fig. 288. *Spatangus retusus.*

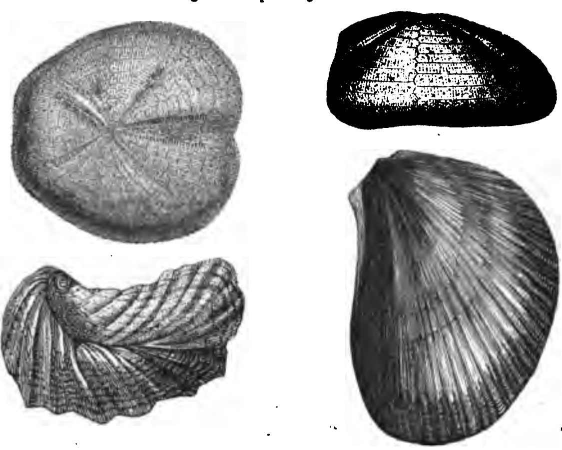


Fig. 289. *Exogyra subplicata.* Fig. 290. *Lima elegans.*

grandes lentilles au milieu des limons marneux et des sables, quelquefois il manque entièrement. Au-dessus de lui se trouvent des argiles grises renfermant une grande quantité d'*exogyres* (fig. 289), une grande espèce d'huître (*ostrea Leymerii*), souvent aussi le *lima elegans* (fig. 290). Ces argiles renferment de grandes lentilles calcaires remplies des mêmes coquilles, et qui offrent des lumachelles confondues avec celles d'*exogyra virgula*, du groupe portlandien (§ 267). Enfin, viennent, du moins dans la Champagne, la Picardie, le Boulonnais, des sables et des argiles, bigarrés de diverses couleurs, des amas de minerais de fer, ordinairement oolitique, qu'on exploite dans la Haute-Marne et dans l'Aube. Les coquilles ont alors presque entièrement disparu, et ne se montrent plus guère qu'auprès des amas ferrugineux.

Dans les parties méridionales de la Bourgogne et de la Franche-Comté, dans le Languedoc, le Dauphiné, la Provence, on trouve des dépôts puissants de calcaire, compacte ou terreux, blanchâtre ou coloré, qui, avec les mêmes espèces de fossiles, en renferment

beaucoup d'autres encore plus caractéristiques. Ici la *chama ammonia* (fig. 291), quelquefois très-abondante, mais toujours fort empâtée dans la roche; là, et surtout dans le Var, plusieurs espèces de *crioceratites* (fig. 292), d'*ancyloceras* (fig. 293), d'*hamites* (fig. 294), de ptycoceras (fig. 295). Les trigonies (fig. 296), qui s'y

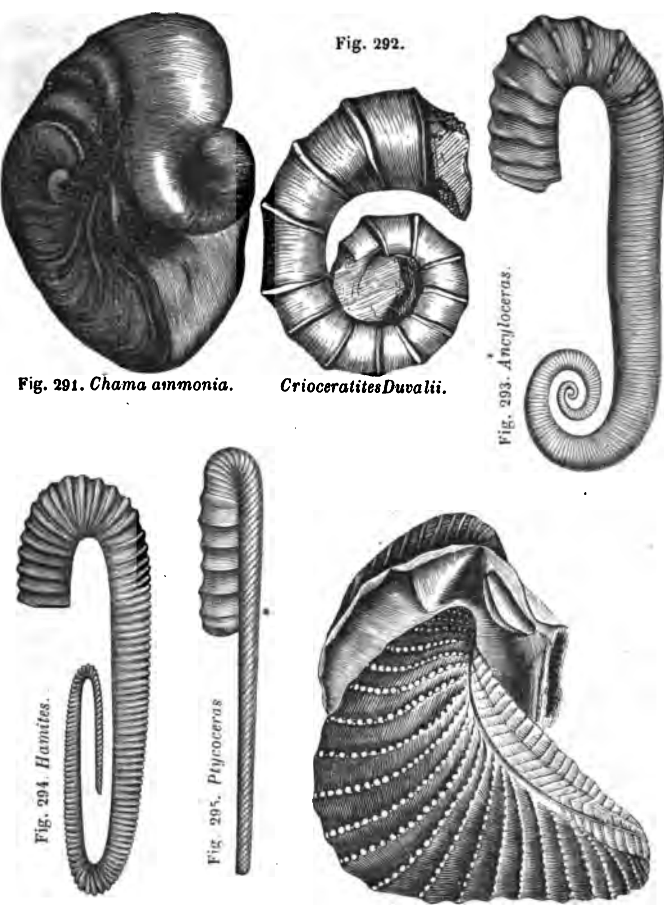


Fig. 291. *Chama ammonia.*

Fig. 292. *Crioceratites Duvalii.*

Fig. 293. *Ancyloceras.*

Fig. 294. *Hamites.*

Fig. 295. *Ptycoceras.*

Fig. 296. *Trigonia alæformis.*

trouvent encore, et qui se continuent dans le grès vert, y présentent de nouvelles espèces.

Ce terrain qu'on n'avait pas d'abord distingué des autres parties de la formation crayeuse, ou dont certaines portions avaient été confondues avec les dépôts jurassiques, est aujourd'hui reconnu, par suite de ses fossiles et de sa position constante, comme formation distincte sur une grande partie du midi de la France, en Languedoc, en Dauphiné, dans les Basses-Alpes, et surtout dans le Var, en Suisse, dans différentes parties de l'Allemagne, en Pologne et jusque dans la Crimée.

§ 273. *Grès vert, craie tuffeau.* — Des sables blancs, jaunâtres, souvent très-ferrugineux, renfermant des amas calcaires; des sables remplis de matières vertes en petits grains très-abondants, des couches calcaires, des marnes bleues ou *gault* des Anglais, des argiles, des grès calcarifères plus ou moins solides, remplis également de matières vertes, tels sont les divers dépôts souvent très-épais qui succèdent à ceux du terrain néocomien, y compris la formation wealdienne, et qui paraissent même en quelques points se trouver avec eux en stratification discordante, comme M. Leymerie l'a observé dans le département de l'Aube. On désigne en général l'ensemble de ces dépôts sous le nom de *grès vert, green sand* des Anglais, qui comprend certains *quadersandstein*, ainsi que le *plœner kalk* des Allemands.

Au-dessus des dépôts que nous venons de citer, la partie calcaire devient souvent plus abondante; elle se trouve d'abord mélangée avec le grès, puis elle s'en isole petit à petit, et bientôt ne renferme plus que les grains verts, d'abord très-nombreux, mais qui diminuent ensuite successivement. Il en résulte alors ce qu'on nomme en général la *craie verte*, ou *craie chloritée*, qui est tantôt terreuse et tantôt assez solide. Les grains verts finissent enfin par disparaître totalement, le calcaire se trouve seul, tantôt présentant la craie pure, qui offre plus ou moins de solidité et devient quelquefois très-compacte; tantôt offrant des calcaires argileux ou sableux, et enfin des sables ou des grès à peu près simples. C'est alors ce qu'on nomme la *craie tuffeau*, et divers dépôts qui en tiennent la place, ou qui lui succèdent.

§ 274. *Coquilles du grès vert et de la craie tuffeau.* — Ces sortes de débris organiques sont en général fort abondants au milieu des divers dépôts que nous venons de citer, et très-distincts par les espèces, souvent même par les genres, de tous ceux que nous avons décrits dans les terrains précédents. A la base même de ces nouveaux sédiments, on peut citer en France, aussi bien qu'en Angleterre, une

couche marneuse caractérisée par la présence d'une grande espèce d'*exogyre*, de 5 à 6 pouces de diamètre (fig. 297), qui n'a pas paru dans le terrain néocomien. Dans l'est de la France, cette bivalve est accompagnée de plusieurs coquilles particulières, et notamment la *plicatula placunea* (fig. 298), qui n'existe pas à d'autres étages. Dans le Var on y trouve encore quelques espèces très-particulières d'*ammonites* et d'*hamites* (§ 272). Quant aux argiles et aux grès, du grès vert proprement dit, on pourrait citer un grand nombre de fossiles caractéristiques, parmi lesquels se trouvent la *nucula pectinata* (fig. 299), l'*inoceramus concentricus* (fig. 230),

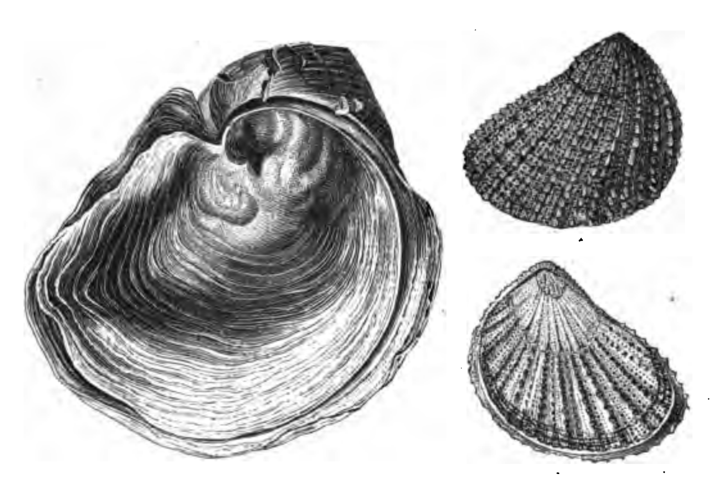


Fig. 297. *Exogyra sinuata*. Fig. 298. *Plicatula placunea*.



Fig. 299. *Nucula pectinata, coquille et moule*. Fig. 300. *Inocerma concentricus*.

coquilles analogues à celles de l'époque actuelle, aussi bien qu'avec la molasse marine qui en renferme dix-huit. Aussi trouve-t-on dans ce terrain beaucoup de débris organiques qui ne se montrent pas au-dessous ; par exemple, le *pleurotoma rotata* (fig. 346) ; le *buccinum prismaticum* (fig. 347) ; le *voluta Lamberti* (fig. 348), etc., et la

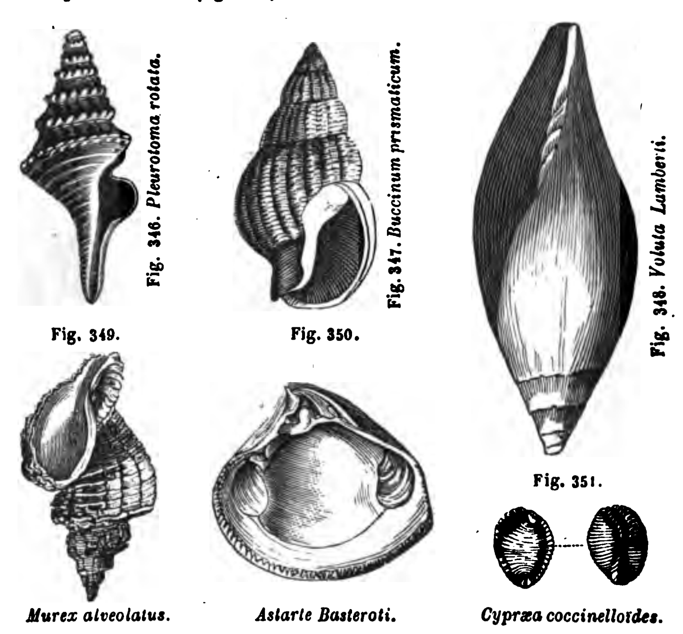


Fig. 346. *Pleurotoma rotata.* Fig. 347. *Buccinum prismaticum.* Fig. 348. *Voluta Lamberti.*

Fig. 349. *Murex alveolatus.* Fig. 350. *Astarte Basteroti.* Fig. 351. *Cypræa coccinelloïdes.*

plupart des coquilles de la Méditerranée. On trouve des dépôts analogues en Sicile, en Sardaigne, aux environs de Nice, de Marseille, de Montpellier, de Perpignan. Le *crag* d'Angleterre, dans le comté de Suffolk, paraît être du même genre, et les coquilles qu'on y trouve sont aussi celles de l'époque actuelle (fig. 349 à 351), etc.

§ 296. Ces terrains, qu'on peut nommer indifféremment *terrain subapennin* ou *terrain de la Bresse*, suivant les lieux où ils sont de formation marine ou de formation fluviatile, sont encore assez répandus. En France, les dépôts de la Bresse s'étendent de Dijon et Besançon jusque vers Valence, sur la longueur de la Saône et du Rhône ; il se trouve un bassin semblable en Provence, entre Digne,

Sisteron, Forcalquier et Manosque; et un autre dans la partie méridionale de l'Alsace, qui se cache au nord sous les alluvions.

Ces dépôts constituent aussi les sables des Landes, étendus sur le terrain de molasse de la rive gauche de la Garonne à l'Océan, et couvrant toutes les collines comprises entre les ruisseaux qui descendent des Pyrénées et de la montagne Noire. On doit peut-être y rapporter aussi les dépôts de Boulade et de Perriers, près d'Issoire, en Auvergne, où MM. Jobert et Crozet ont trouvé tant d'ossements enfouis, comme aussi les dépôts partiels répandus sur la pellicule de molasse qui couvre la craie de la Normandie, de la Picardie, de l'Artois, qui semblent se lier avec ceux des comtés de Suffolk et de Norfolk; mais qui pourraient peut-être aussi se rapporter au diluvium.

Ces dépôts renferment encore des amas de lignites qui sont exploités avec avantage dans diverses localités. Les uns présentent des couches réglées de combustible compacte, accompagnées de coquilles d'eau douce, comme à Paumiers (Isère), ce qui annonce des dépôts tranquilles et lents dans des lacs; mais le plus grand nombre, qui peut-être appartient aux dépôts diluviens, comme aux environs de la Tour-du-Pin, et en plusieurs points de la Haute-Saône, n'offrent que des amas irréguliers de bois, dont les uns présentent le tissu des conifères, les autres, celui des dicotylédones. Il y a également un très-grand nombre de feuilles analogues à celles de nos dicotylédones actuelles.

§ 297. *Cavernes à ossements.* — C'est peut-être à l'époque subapennine que vivaient les éléphants, ainsi que les mammifères carnassiers, dont nous trouvons aujourd'hui les débris dans les cavernes qui leur servaient d'habitation. Les plus anciennes de ces cavités, connues par les débris qu'elles renferment, sont celles du Harz et de la Franconie; mais depuis que M. Buckland a fait voir qu'il fallait déblayer les limons, les sables, les cailloux roulés, les stalagmites, qui ont souvent recouvert les ossements, on a trouvé de ces débris partout où jusqu'alors on ne les avait pas soupçonnés.

La plupart de ces cavernes ont eu jadis des ouvertures latérales, souvent encore libres aujourd'hui, qui ont pu donner accès aux animaux de l'époque. Ceux-ci, sans doute, pendant de nombreuses générations, seront venus s'y réfugier, y auront traîné leur proie, et terminé successivement leur existence[1]. De là accumulation de

[1] Divers géologues, admettant que les cavernes ont été remplies par des courants d'eau qui y ont entraîné tous les animaux dont nous y trouvons les ossements, rapportent tout alors à la période diluvienne.

direction des vallées se trouvent en général des débris plus ou moins roulés des roches de la contrée, des sables ou des argiles qui proviennent du remaniement des matières sous-jacentes. Au-dessus viennent les débris roulés des diverses roches amenés de loin par les affluents, et qui se trouvent mêlés tous ensemble dans la partie inférieure de la vallée principale. C'est ainsi que la vallée de la Seine offre des alluvions où l'on reconnaît des cailloux roulés de tous les terrains que les affluents traversent : des calcaires siliceux amenés par les affluents de la rive gauche, des grès parisiens, des silex, de la craie, des calcaires jurassiques, amenés par la Marne, par l'Aisne, la haute Seine, et même des granites, des siénites du Morvan, qui sont arrivés par l'Yonne; aussi n'en trouve-t-on pas au-dessus de Montereau.

Les alluvions anciennes de la vallée du Rhin sont principalement formées, dans le fond, des débris roulés des roches environnantes. Dans sa partie inférieure, ce sont des sables et des cailloux roulés qui proviennent du grès des Vosges (§ 249). Au-dessus se trouve une argile fine, en dépôts souvent très-épais et très-étendus, qu'on nomme *lehm* ou *loes*, caractérisés par des coquilles d'eau douce qui vivent encore dans le fleuve, ou des coquilles terrestres de la contrée.

La vallée du Rhône nous présente, depuis Lyon jusqu'à la mer des débris alpins qui n'ont pu être charriés par le fleuve actuel, qui entrent dans toutes les vallées latérales, se lient à toutes les terrasses qu'on observe sur les dépôts précédents, et nous offrent enfin dans le haut les témoins d'une vaste nappe qui a recouvert les dernières pentes des Alpes. Çà et là dans le fond de la vallée se trouvent au-dessus, ou au milieu de ces débris, des dépôts plus ou moins épais d'argile qui sert partout de *terre à piser*. Ces dépôts se prolongent sans interruption jusqu'aux plaines de la Camargue et de la Crau, immenses remblais de cailloux roulés de toute espèce, dont on suit la route directe dans la vallée de la Durance jusqu'au centre des Alpes qui les a fournis. Les mêmes dépôts se retrouvent en Piémont, en Lombardie, dans les plaines de l'Autriche, de la Bavière, de la Suisse, entourant ainsi tout le groupe alpin, d'où les matériaux ont été arrachés; c'est ce qu'on a nommé le ***diluvium alpin***.

§ 304. *Dépôts des mers.* — Ceux-ci recouvrent des espaces plus étendus que les précédents, et se divisent en couches plus nombreuses; mais par cela même que maintes fois ils se sont formés avec lenteur comme les dépôts de l'époque subapennine, il est souvent difficile de les en distinguer nettement, et il y a bien, à l'égard de quelques-uns d'entre eux, quelques incertitudes, qu'on ne peut

lever que par une étude approfondie des débris coquilliers qu'ils renferment.

En Angleterre, après quelques débris roulés, variables suivant les lieux, ou bien des argiles et des sables qui proviennent du remaniement, soit de l'argile de Londres (§ 287), soit des grès bigarrés (§ 250), on trouve souvent un dépôt argileux, ou *Till*, caractérisé par la présence d'un grand nombre de blocs de toute espèce, parmi lesquels il s'en trouve d'étrangers à la contrée et qui viennent de pays éloignés : ces dépôts atteignent parfois jusqu'à 100 mètres de puissance. Au-dessus du Till viennent des argiles feuilletées, quelquefois séparées par des graviers, et renfermant des ossements d'éléphants, de cerfs, etc., mélangés parfois de coquilles des mers actuelles. Par-dessus viennent encore des marnes coquillières de diverses espèces, et çà et là des dépôts lacustres, qui se trouvent même intercalés, et renferment aussi des débris d'éléphants, d'hippopotames, de cerfs, etc., avec toutes les coquilles fluviatiles et terrestres de la contrée.

Dans le nord de l'Europe, les argiles, avec ou sans blocs, paraissent aussi former la base du diluvium, et sont recouvertes par des sables qui renferment des coquilles des mers glaciales. C'est encore quelque chose d'analogue que les dépôts d'argile bleue avec graviers, et de sables avec blocs de diverse nature et coquilles des mers du Nord, qui forment la base du Danemark et qui se prolongent dans les plaines du Mecklembourg, de la Prusse, du Hanovre, en se joignant aux sables et autres débris roulés modernes qu'on nomme *geest* dans toute la partie occidentale de l'Allemagne.

Plus loin, sur les côtes de la mer Blanche et de l'océan Glacial, il existe des bancs considérables de sables remplis de coquilles des mers arctiques, avec des débris d'éléphants et d'autres grands animaux. Enfin les innombrables plages soulevées qu'on rencontre partout renferment les mêmes débris organiques et paraissent dès lors appartenir au diluvium.

L'Amérique septentrionale nous présente des circonstances analogues dans les divers dépôts diluviens qu'on y rencontre. Il en est de même dans l'Amérique méridionale, où le *limon des pampas* repose sur des dépôts argileux et sableux renfermant des coquilles des mers voisines, et qu'on retrouve non-seulement au Brésil, mais encore dans tout le terrain qui s'étend au sud jusque dans la Patagonie. Les plages soulevées du Chili (§ 32, 153), se rapportent à la même époque en se liant avec ce qui s'est fait de nos jours.

§ 305. *Dépôts divers.* — C'est à la même époque qu'il faut rapporter les amas immenses de débris roulés dans lesquels se trouvent

l'or, le platine, le diamant, tant au Brésil que dans l'Inde, dans les monts Oural et Altaï, où les dépôts renferment aussi des débris d'éléphants, de rhinocéros, etc. Les dépôts stannifères de Cornouailles, du Mexique, de la presqu'île orientale de l'Inde, où ils sont abondants, paraissent s'y rapporter également.

Enfin, on doit citer parmi les derniers dépôts diluviens le *terreau noir*, ou *Tshernoïzem*, matière éminemment fertile, qui couvre une grande partie du sud de la Russie d'Europe, du pied des Karpathes à l'Oural, et jusque sous le 54e degré nord, qui pénètre en Sibérie, et semble se lier aux dépôts à ossements. Il en est sans doute de même du *Regur* ou *terre à coton de l'Inde*, dont la fertilité est encore plus remarquable. Ce dépôt, d'une étendue immense, paraît recouvrir aussi toute espèce de terrain et jusqu'aux débris qui renferment le diamant. Ni l'une ni l'autre de ces matières ne renferme le moindre caillou roulé, le moindre débris de coquilles, si ce n'est, à la surface, quelques coquilles d'eau douce ou terrestres.

§ 306. *Débris animaux de ces dépôts.* — Les dépôts diluviens renferment partout des dépouilles de mollusques qui appartiennent aux espèces vivantes de la contrée, les unes marines, les autres d'eau douce; mais ce qui les caractérise surtout, ce sont les nombreux et derniers débris d'éléphants, de rhinocéros et de tous les animaux qui ont paru avec eux à la surface du globe, qu'on trouve partout vers la base du terrain diluvien. Parmi ces dépôts à ossements, le plus remarquable est cet immense ossuaire de l'océan Glacial du nord, sur les côtes de la Sibérie et dans les îles qui en dépendent. Là un grand nombre d'animaux conservant encore leurs chairs, sont enfouis dans des sables qui renferment des coquilles du même océan, et qui sont consolidés par des glaces perpétuelles. On y a trouvé des éléphants, des rhinocéros, couverts de longs poils, ce qui semble indiquer que les espèces, qui vivaient alors dans ces climats, étaient destinées à supporter des températures plus basses que celles à peau nue qui habitent aujourd'hui l'Asie méridionale et l'Afrique. Les défenses de ces éléphants de l'ancien monde sont recherchées par le commerce, où elles entrent en concurrence avec celles des éléphants modernes.

En Amérique, les ossements des éléphants et des rhinocéros se trouvent avec des débris de mastodonte et surtout ceux du massif megatherium (fig. 352), qui n'avait pas moins de 4 mètres de longueur sur 2 de hauteur, dont la tête présente de l'analogie avec celle des animaux du genre bradype, de l'ordre des édentés. C'était sans doute un animal lent, et vivant de racines, que ses molaires étaient merveilleusement disposées à broyer.



Fig. 352. *Squelette du megatherium, ou animal du Paraguay.*

§ 307. *Roches moutonnées, polies, striées et sillonnées.* — Un des phénomènes les plus remarquables qui ont précédé ou accompagné la formation diluvienne, est celui des roches arrondies, usées polies, striées et cannelées, qui annoncent avec évidence le frottement des corps durs, en même temps qu'ils montrent la direction imprimée aux masses que la nature mettait en jeu. Depuis que Saussure a fait remarquer les sillons qui se trouvent sur les pentes du Salève, et les a considérés comme les ornières du char qui a transporté les cailloux et les blocs des environs de Genève, on a observé partout des phénomènes du même genre : dans le Jura, dans les Vosges, dans le Westmoreland et le Cumberland en Angleterre, en Suède, en Norvége, en Laponie, en Finlande, dans l'Amérique du Nord, etc.

Parmi les naturalistes, les uns admettent qu'en Suède, en Norvége, en Laponie, les stries et les sillons ont partout une direction à peu près constante, sauf les irrégularités locales ; que les surfaces moutonnées, qui de loin ressemblent à des *sacs de laine* empilés les uns sur les autres, sont généralement tournées vers le nord et jamais vers le sud. On a conclu de ces considérations que la cause de ces effets devait être cherchée hors de la Scandinavie, et se trouver vers les régions polaires du nord. Ce qu'il y a de remarquable, c'est qu'au Canada et sur une grande partie du sol des États-Unis,

la direction des sillons est aussi du nord au sud; en sorte qu'il y aurait là un immense phénomène produit avant l'apparition de l'homme sur la terre (§ 374), puisqu'il a eu lieu avant les dépôts diluviens (§ 302), qui s'est manifesté, sauf les irrégularités locales, jusque dans les îles Britanniques, donnant aux monticules granitiques de la Finlande une forme allongée dans ce sens, et façonnant partout les montagnes suivant les directions que les circonstances pouvaient lui imprimer.

D'autres naturalistes nient, au contraire, les généralités que nous venons d'indiquer, et reconnaissent de grandes irrégularités dans les dispositions des stries et des sillons. Ils les regardent comme dépendantes des dispositions locales, et en général comme divergentes à partir des régions culminantes des montagnes, comme suivant les lignes de plus grandes pentes, les directions des grandes vallées. Ils font remarquer que du cap Nord à Christiana, le côté arrondi, poli et strié des roches du rivage est tourné vers les terres, tandis que le côté abrupt regarde la mer; de telle sorte que la cause modifiante, loin de venir du pôle, paraîtrait, au contraire, venir de l'intérieur des terres.

Dans les Alpes, les surfaces moutonnées, polies, striées, cannelées, se trouvent, comme nous l'avons dit (§ 107), en connexion intime avec les glaciers actuels; les stries, les sillons en suivent tous les mouvements dans leurs directions, se conservent sur toutes les roches assez dures, et indiquent par leur présence à des niveaux différents, à des distances plus ou moins grandes dans la direction des vallées, l'ancienne extension des dépôts qui les ont formés.

§ 308. *Dépôts erratiques.* — Une circonstance particulière des terrains diluviens nous est présentée par certains dépôts qu'on est aujourd'hui convenu de nommer dépôts erratiques. Bien que liés intimement, d'une manière générale, avec les sédiments qui ont eu lieu après le terrain subapennin, comme on le voit autour des Alpes, par les amas de blocs qui se trouvent dans le haut des vallées où commencent les alluvions de la Durance et des affluents du Rhône, ainsi qu'en beaucoup d'autres lieux, les dépôts dont nous allons parler offrent cependant, en certains lieux, quelque chose d'anormal qui semble réclamer une explication particulière. On se demande, par exemple, comment des blocs détachés du centre des Alpes ont pu, d'une part, se déposer à une grande hauteur sur les flancs des vallées qui en descendent, et de l'autre, parvenir en grand nombre, en conservant leurs arêtes intactes, jusque sur les sommets du Jura, à 600 ou 800 mètres au-dessus de la large vallée de la Suisse, qu'ils ont dû traverser; car il est certain que cette

vallée a toujours existé depuis l'apparition du massif alpin (§ 344, 349, 370). On n'est pas moins étonné quand, partant de la Suède, où l'on trouve des blocs dispersés sur la croupe des montagnes, on en voit de même nature transportés malgré la Baltique, dont le fond du reste en est rempli, jusqu'au milieu des plaines de la Prusse, où ils viennent se lier obliquement avec d'autres traînées de blocs qui remontent jusqu'à la Finlande, et qui couvrent dans d'autres directions les plaines de la Pologne et de la Russie. Il y a de ces blocs, encore à arêtes vives, qui ont dû faire 250 lieues pour arriver au point où ils se trouvent aujourd'hui, et où ils se mêlent d'un côté avec ceux de l'Oural, de l'autre avec ceux de la Silésie, de la Saxe et du Harz, dont les montagnes ont d'ailleurs arrêté ou fait refluer les premiers. C'est cet éparpillement qui a fait donner à tous les blocs non roulés l'épithète d'erratiques, qu'on a appliquée plus tard à tous ceux qui offrent les mêmes anomalies de position. On en retrouve de tels dans les Pyrénées, dans les Vosges, les Ardennes, dans le bassin de Paris même, en Angleterre, dans l'Amérique du Nord comme dans celle du Sud, dans les Indes, etc.

§ 309. **Théorie des surfaces polies, des dépôts erratiques.** — Il y a les plus grandes dissidences entre les géologues relativement à la manière de concevoir la formation des stries, des sillons, et la dispersion des blocs, ou, en général, des dépôts de transport à la surface de la terre. Les uns n'ont vu dans les phénomènes du nord de l'Europe, que des actions de courants puissants arrachant des quartiers de rochers aux montagnes et les transportant au loin en usant, striant, sillonnant les roches restées en place. D'autres ont fait intervenir l'action des glaçons pour transporter ces blocs dans tous les sens, jusqu'à ce qu'ils atteignissent des contrées plus chaudes, où, en se fondant, ils les laissaient aller au fond des mers, ou bien jusqu'à ce qu'ils vinssent échouer sur quelques hauts-fonds. Il en est qui, voyant partout ces dépôts de transport sur des surfaces préalablement striées, ont attribué un premier démantèlement des montagnes, et la formation des stries, à des débâcles des glaces des pôles, dont les glaçons étaient charriés avec une extrême vitesse. Les parties fines des roches étaient dans cette hypothèse immédiatement transportées par les eaux jusqu'aux lieux où elles sont déposées, et les blocs tombés au pied de la montagne, auraient été repris plus tard par des glaçons, et dès lors transportés dans toutes les directions au milieu des dépôts de sable, ou au-dessus d'eux, puis auraient été finalement mis au jour par un soulèvement du sol. La Baltique, dont le fond est encore couvert de blocs, serait le reste des mers qui couvraient alors toutes les plaines de l'Alle-

magne occidentale et toute la Russie. Enfin, remarquant que les montagnes ont été sillonnées jusqu'à de grandes hauteurs; qu'en conséquence, il fallait admettre une grande élévation des courants au-dessus des mers actuelles, ou supposer que les terres ont été autrefois plus basses, quelques savants ont imaginé de combiner les oscillations du sol avec l'action mécanique des courants chargés de forts glaçons, en rendant ainsi plus ou moins raison de toutes les particularités qu'on observe. Les mêmes théories ont été appliquées à tous les phénomènes du même genre dans toutes les contrées maritimes.

Relativement aux Alpes, on a cherché à expliquer le transport des blocs de deux manières. Les uns ont admis des torrents boueux (§ 96, 302), d'une grande profondeur, capables par conséquent de se mouvoir avec une grande vitesse sur les pentes les plus faibles, susceptibles dès lors de transporter des blocs énormes sans en arrondir les angles, et même de sillonner les roches sur lesquelles ils passaient. Les autres, voyant les glaciers strier et sillonner les rochers qui les encaissent (§ 107), ont imaginé que toute espèce de stries étaient produites de la même manière, et de supposer d'anciens glaciers partout où l'on observe ces phénomènes. Voyant, en outre, les glaciers transporter constamment à leur surface des blocs et des débris, former des moraines sur leurs parties latérales et à leur extrémité, ils ont pensé que telle avait été dans tous les temps la cause du transport des blocs partout où on les trouve; en conséquence, ils ont admis la prolongation des glaciers actuels jusqu'au Jura, en remplissant toute la vallée de la Suisse. C'est ce qui a été établi d'une manière très-remarquable par M. Decharpentier, qui cherchant, dans le principe, à recueillir des faits contre cette théorie naissante, s'est trouvé entraîné à en soutenir au contraire la vraisemblance. Il est impossible de voir des faits mieux coordonnés, plus clairement exposés, et l'on est conduit à en admettre les conséquences pour les Alpes, malgré l'énormité d'un glacier de 600 à 1000 mètres d'épaisseur, 60 lieues de longueur, d'une surface de plus de 2000 lieues carrées, et envoyant des branches dans toutes les vallées latérales.

Bientôt on a cherché à appliquer la théorie glaciaire aux phénomènes du nord. On a admis que les stries, les sillons des montagnes de la Scandinavie ont été produits, comme dans les Alpes, par des glaciers, ce qui explique assez bien la hauteur à laquelle on les trouve et leur divergence à partir des points culminants. Enfin, pour le transport des blocs, on a imaginé un énorme glacier, une vaste calotte de glace de 250 lieues de rayon, par laquelle ils ont été

portés partout où nous les voyons. Bref, on a couvert tout le globe de glaciers en un certain moment pour expliquer tous les phénomènes diluviens, en admettant un refroidissement général de notre planète pendant un certain temps, peu après l'apparition des Alpes principales.

Toutefois on a excepté de cette théorie la formation des sillons tortueux, des marmites des géants, partout où on en rencontre à la surface du globe; on admet même que plusieurs de ces effets étaient produits avant l'apparition des glaciers qui en ont strié les bords en passant par-dessus.

On voit qu'en tout il y a deux théories principales, entre lesquelles se partagent les géologues : l'action des courants, soit simples, soit boueux, et l'action des glaciers, dont chacune a été défendue jusqu'ici avec outrance exclusivement à l'autre. Pour ceux qui n'ont pas pris part à la discussion, il paraît évident qu'aucune des deux théories ne peut rendre compte à elle seule de tous les faits observés, sans recourir à des suppositions extraordinaires qu'on ne peut justifier, et que viendra un jour une théorie unique où chacune des deux autres aura sa part véritable. C'est ce que quelques savants ont déjà tenté, mais sans trop de succès, probablement parce qu'on ne connaît pas encore suffisamment les détails, et qu'on ne sait pas même exactement quelles sont les bases par lesquelles on doit commencer leur étude définitive.

§ 310. **Terrain moderne.** — Ici se trouve rangé tout ce qui se fait de nos jours, tout ce dont la formation paraît se rattacher à l'ère actuelle du globe : l'établissement des cordons littoraux, le remplissage des lagunes qu'ils ont produites, et tout ce qui s'est fait dans les deltas; la formation des dunes et leurs envahissements successifs; le remplissage des lacs et des marais; enfin les dépôts qui se forment aujourd'hui dans les mers et tout ce qui en a été soulevé depuis l'ordre de choses actuel.

Les matières de ces dépôts sont des cailloux roulés, des sables et des limons plus ou moins mélangés; des calcaires plus ou moins marneux qui se forment dans les lacs et dans les mers, la tourbe et le fer limoneux de nos marais; joignons enfin les tufs calcaires, les tufs siliceux que les sources amènent partout de l'intérieur de la terre à l'extérieur. Les débris organiques appartiennent tous à ce qui existe avec nous sur le globe, et même aux contrées les plus voisines des dépôts formés; ce sont des infusoires dans tous les limons, même dans le fer limoneux, comme en Silésie, des coquilles terrestres dans les tufs et qui se joignent souvent aux coquilles d'eau douce dans les dépôts des lacs et des marais, des coquilles

marines des mers adjacentes, sur les plages et dans des cordons littoraux, dans tout ce qui se dépose aujourd'hui au fond des mers, où d'ailleurs se trouve entassé tout ce qui existe avec nous sur le globe.

Il faut joindre à ces formations journalières les rescifs madréporiques que nous avons indiqués dans les mers du Sud (§ 120), qui concourent à l'élévation des montagnes sous-marines, et qui ont contribué à la formation d'une multitude d'îles, ainsi qu'à l'agrandissement de celles qui existaient par des causes antérieures.

C'est à l'époque moderne qu'il faut rapporter les dépôts coquilliers marins qui renferment des débris de l'industrie humaine, comme nous en avons cité sur les côtes de l'Italie et de la Sicile, sur celles de la Suède et de l'Angleterre, aux Antilles, où se trouvent même des débris humains, et dans les îles du Pérou (§ 118, 153 à 156); il faut même y joindre les plages soulevées de nos jours au Chili (§ 32), sur lesquelles on ne peut avoir aucun doute. Quant aux dépôts analogues qu'on trouve plus avant dans les terres, soit dans cette même contrée, soit à Timor, à la Nouvelle-Hollande, etc., bien qu'ils aient été évidemment soulevés du sein des mers, il est difficile aujourd'hui de bien juger de leur époque de formation; et quoique les débris organiques qu'ils renferment appartiennent entièrement à l'époque actuelle, peut-être, par analogie avec ce que nous présentent les sables du Danemark, faut-il les rapporter à l'époque des dépôts diluviens. Au reste, il est souvent fort difficile d'établir une ligne nette de démarcation entre les terrains diluviens et les terrains modernes; et il est à présumer que dans les diverses formations qui ont suivi celles qu'on rapporte aux dépôts subapennins, on formera par la suite plus de divisions que nous n'en supposons aujourd'hui.

ÉTUDE DES ROCHES DE CRISTALLISATION INTERCALÉES AVEC LES DIFFÉRENTS DÉPÔTS DE SÉDIMENT.

§ 311. **Nature et distinction des roches cristallines.** — Si le carbonate de chaux, compacte ou terreux, et plus ou moins mélangé de matières diverses, intercalé avec des dépôts arénacés très-variables de nature et d'épaisseur, constitue en général les terrains de sédiment, les silicates de diverses sortes forment aussi généralement ce que nous avons appelé les terrains de cristallisation, dont les uns sont de fusion et les autres de pur métamorphisme (§ 180 à 213). Ces matières sont principalement les diverses substances qu'on a rangées autrefois sous la dénomination de *feldspath*,

telles que *labradorite*, *orthose*, *albite*, etc., ou celles qu'on a nommées *micas*, qui paraissent offrir tant d'espèces diverses; les *amphiboles*, et particulièrement les *actinotes* et les variétés nommées *hornblende;* les *pyroxènes* à base de protoxyde de fer, et leur modification, qu'on a désignée sous le nom d'*augites;* enfin les silicates magnésiens qu'on a nommés *serpentines* et *diallages* (voyez la *Minéralogie*). Toutes ces matières sont mélangées entre elles et avec le quarz de différentes manières.

Les roches (matières de rochers) que constituent la silice et les silicates sont tantôt *simples*, tantôt *composées;* c'est-à-dire qu'elles sont formées d'une seule et même matière, ou qu'elles résultent de la réunion constante de plusieurs matières différentes. Les *roches simples* sont le *quarz*, vitreux ou lithoïde, compacte ou grenu, fréquemment alors plus ou moins schisteux, et constituant des *quarzites* et les *lydiennes* (*quarz lydien*). Viennent ensuite les *feldspaths* divers à l'état compacte, qui forment les *petrosilex*, ou *eurites;* puis les *obsidiennes* et les *rétinites*, qui s'y rattachent minéralogiquement, ainsi que les ponces qui en dépendent. Les amphiboles forment les roches nommées *amphibolites*, comme le pyroxène en masse forme celle qu'on nomme *lherzolite*. Les diverses sortes de *serpentines* sont aussi des roches simples de fusion qui forment çà et là des mamelons plus ou moins considérables. On nomme serpentines diallagiques celles qui présentent dans la cassure des lamelles de diallage d'une espèce ou de l'autre.

§ 312. *Caractère des roches composées.* Les roches composées, dont on peut faire minéralogiquement une infinité d'espèces, suivant la quantité, la nature et la variété des substances mélangées, se réduisent cependant à un assez petit nombre quand on veut les envisager en grand comme les masses qu'elles forment à la surface du globe. Ce sont en général les roches suivantes.

a. Granite. — Roche massive formée de trois éléments cristallins, orthose, quarz et mica, réunis ordinairement en masses grossièrement granuleuses et agrégés avec plus ou moins de force. Le mica, qui offre tant de caractères différents, peut servir à établir un grand nombre de variétés de cette roche, et entre autres les *granites talqueux*, qui appartiennent particulièrement aux Alpes, et qui, par une idée qu'on a reconnue fausse (§ 348), avaient été nommés *protogynes*. La manière dont ces éléments sont groupés peut aussi donner lieu à quelques distinctions, et de là les *pegmatites*, où les trois principes se retrouvent en grand, formant chacun de gros amas distincts accolés les uns aux autres. En petit, la roche présente souvent un orthose lamellaire, rempli de cristaux de quarz;

le *granite graphique* en est une variété où les cristaux de quarz enclavés dans l'orthose donnent, dans certaines directions, l'apparence des caractères hébraïques.

b. Siénite. — Roche massive assez analogue au granite, auquel elle passe par toutes les nuances, où le mica est remplacé en tout ou en partie par l'amphibole. Le quarz y disparaît assez fréquemment sur une étendue plus ou moins considérable, et quelquefois aussi l'orthose. Dans ce dernier cas, la roche passe à l'amphibolite. Quelquefois les éléments se confondent, la roche devient compacte et ressemble à la diorite compacte.

Il existe aussi des roches analogues où l'orthose est remplacé par le labrador, et l'amphibole par l'hypersthène; ce sont celles qu'on a nommés *hypérites.*

Les granites et les siénites, outre la réunion principale qui les constitue, renferment souvent des cristaux disséminés de feldspath plus ou moins volumineux, qui appartiennent assez fréquemment à l'albite. La roche devient alors *porphyroïde.*

c. Gneiss. — Le granite et la siénite, au lieu de présenter la structure massive, cristalline et granulaire, qui leur est propre, passent fréquemment à des matières schisteuses sans perdre aucun de leurs éléments. Ce sont ces matières qu'on nomme *gneiss*, et qui participent à toutes les variations de leurs congénères; mais il est nécessaire de remarquer que si ces roches peuvent être quelquefois des variétés des granites ou des siénites auxquels elles sont associées, le plus souvent on reconnaît qu'elles se lient aux roches arénacées, aux argiles schisteuses des terrains sédimentaires, dont elles sont des métamorphoses : ce sont alors les *gneiss métamorphiques*, qui se trouvent toujours intercalés entre les granites et les roches sédimentaires.

d. Leptynite, ou weisstein. — Il arrive souvent que, dans quelques points, les granites, les siénites, les gneiss, perdent leur quarz, leur mica ou leur amphibole; la roche devient alors presque entièrement feldspathique, finement grenue, et elle se trouve désignée sous le nom de *leptynite.* Elle est tantôt compacte, tantôt schisteuse, quelquefois granitoïde et renfermant alors des lamelles de mica disséminées, rarement du quarz.

e. Hyalomicte granitoïde ou greisen. — C'est une sorte de granite peu répandu dans la nature, où le feldspath est très rare; elle a cela d'important qu'elle accompagne fréquemment les minerais d'étain et peut leur servir d'indice. L'*hyalomicte schistoïde*, qui ne renferme que du quarz hyalin et du mica, paraît se rattacher quelquefois au gneiss et au schiste micacé, qui font partie des

masses granitiques : mais le plus souvent aussi elle se lie aux roches métamorphiques de ces deux genres.

f. Euphotide, ou gabro. — Roche composée d'albite compacte ou de labradorite et d'une des matières qu'on nomme diallage. Ce mélange présente tantôt une apparence granitoïde, tantôt une structure fissile et plus ou moins feuilletée. Il y a au cap Lizard une roche analogue formée d'oligoclase et d'hypersthène.

g. Diorite, *grünstein* des Allemands. — Roche assez analogue à la siénite lorsqu'elle est cristalline, mais composée d'albite, quelquefois d'oligoclase, et d'amphibole, renfermant rarement du quarz. Elle passe fréquemment à l'*amphibolite* en perdant la matière feldspathique ; mais il arrive aussi que les deux éléments se mêlent d'une manière intime et que toute la masse devient compacte, sans qu'on y puisse distinguer à l'œil les parties constituantes : on la désigne assez souvent alors sous les noms de *cornéenne* ou d'*aphanite*, et elle devient porphyroïde par la dissémination de petits cristaux feldspathiques plus ou moins distincts.

h. Dolérite. — C'est un mélange de labrador lamellaire avec du pyroxène augite. Cette roche ressemble quelquefois à certaines variétés de siénites et de diorites, et d'autant plus qu'elle renferme assez souvent aussi de l'amphibole.

i. Basalte. — C'est une dolérite compacte, où le labrador et le pyroxène sont intimement mêlés et indiscernables à l'œil. Il s'y trouve souvent disséminés des cristaux de pyroxène, quelquefois de mica noir, et souvent du péridot. Cette roche présente fréquemment les divisions en colonnes prismatiques ; elle passe souvent aux matières scoriacées, à des tufs basaltiques, et aussi à une matière argileuse assez dense, qu'on nomme *wacke*, qui constitue parfois à elle seule des dépôts considérables, tantôt isolés, tantôt en relation avec les basaltes ou les amygdaloïdes qui en dérivent.

k. Trapp. — Roche douteuse, où les éléments composants sont indiscernables : on la voit passer tantôt à la diorite compacte, tantôt aux basaltes. Ces matières se divisent très-fréquemment en prismes et présentent toutes les allures des basaltes, si ce n'est qu'elles n'offrent pas de passage aux matières scoriacées. On n'y trouve pas non plus de péridot disséminé. Du reste, on les voit passer à des roches porphyriques et amygdaloïdes. Souvent elles forment des masses de roches disposées en gradins, et c'est ce qui leur a valu le nom de trapp en Suède.

l. Trachyte. — Roches massives, qui paraissent être généralement albitiques ; mais souvent à pores extrêmement fins qui déterminent une âpreté particulière dont on a tiré leur dénomination.

Ces roches passent d'un côté à des matières scoriacées ou ponceuses, et de l'autre à des roches compactes et porphyriques, et même à des porphyres quarzifères très-caverneux. Elles sont tantôt simples, tantôt mélangées de mica ou d'amphibole, rarement de pyroxène. On donne le nom de *domite*, parce qu'elles composent la masse du Puy-de-Dôme et diverses buttes environnantes, à des matières à grain fin, peu agrégées, qui renferment les mêmes éléments et passent à des variétés plus solides porphyriques.

m. Phonolite, ou klingstein. — Roche tabulaire ou schisteuse, ordinairement sonore, ce qui lui a valu ses noms; en partie attaquable par les acides, tantôt d'apparence homogène, tantôt peu distinctement porphyrique; elle se lie à la fois aux terrains trachytiques et aux terrains basaltiques.

n. Roches porphyriques diverses. — On nomme en général *porphyre* toute espèce de roche composée qui, dans une pâte compacte, le plus ordinairement feldspathique, renferme des cristaux distincts d'une autre substance qui est aussi le plus souvent une de celles qu'on a nommées feldspaths. Tantôt la pâte est un feldspath compacte à peu près pur, et il en résulte ce qu'on nomme les *porphyres euritiques;* ailleurs elle renferme une assez grande quantité de matière ferrugineuse rouge; souvent elle présente une *diorite*, dans laquelle sont disséminés des cristaux plus clairs, quelquefois tout à fait blancs d'albite plus ou moins distincts, quelquefois d'andésite ou d'oligoclase : il en résulte alors les porphyres verts, *grünstein-porphyr*, qu'on nomme aussi *ophites*. Dans d'autres cas, la base est labradorique, et colorée en noir par une matière qu'on regarde comme du pyroxène; il en résulte des porphyres noir, qu'on nomme aussi *mélaphyres*. Enfin la pâte se charge souvent de silice que l'on voit s'isoler çà et là, et présenter des parties plus ou moins étendues de silex opaque; elle se remplit quelquefois de cristaux de quarz, et renferme en même temps des cristaux d'orthose ou d'albite. Ces roches, ordinairement rougeâtres, dont la pâte devient souvent plus ou moins terreuse, sont les *porphyres quarzifères* et les *porphyres argileux*, qu'on nomme aussi *argylophyres*.

o. Variolites. — Lorsque le feldspath, au lieu de se présenter en cristaux dans une pâte feldspathique compacte, n'y forme plus que des nœuds cristallins, qui sont souvent striés du centre à la circonférence, la roche prend le nom de *variolite*, ou de feldspath glanduleux. Les variolites de la Durance sont à base de diorite compacte.

p. Amygdaloïdes. — Les diorites, les basaltes, les wackes, les

trapps et les mélaphyres renferment souvent des noyaux plus ou moins irréguliers de calcaire, d'aragonite, de zéolite, qu'on a quelquefois comparés à des amandes renfermées dans une pâte : la roche prend alors l'épithète ou même le nom d'*amygdaloïde*. On ne sait pas toujours à quelle espèce de roche appartient la pâte des amygdaloïdes; mais on voit toutes celles dont nous avons parlé passer à cette modification, et l'on remarque alors que les diorites passent à des amygdaloïdes dont les noyaux sont calcaires, tandis que les basaltes, les mélaphyres, etc., en donnent d'autres où les noyaux sont formés d'aragonite et de zéolite.

q. Roches feuilletées, ou schisteuses. — Ces roches sont composées de lames de mica, tantôt élastique, tantôt seulement flexible, et alors doux au toucher, qui sont le plus souvent entremêlées avec des lits de quarz, et dont l'ensemble forme des masses susceptibles de se diviser en feuillets plus ou moins minces. Ce sont les *schistes micacés*, ou *micaschistes*, et les *schistes talqueux*. On donne souvent le nom de *schistes argileux* à celles de ces roches qui ne renferment pas de quarz, ou du moins qui n'en renferment qu'en très-petite quantité.

Certains micaschistes, surtout ceux où le quarz est dominant, ne sont que des modifications des gneiss associés aux roches granitoïdes; mais la plupart se lient aux différents dépôts de sédiment par les gneiss superposés aux granites, et ne sont que le résultat du métamorphisme des dépôts arénacés et argileux par les divers agents souterrains.

r. Roches calcaires-cristallines. — Les calcaires sédimentaires sont presque toujours modifiés profondément dans le voisinage des roches de fusion. Ils passent alors à diverses variétés de calcaire saccharoïde et se mélangent de différentes substances minérales en formant des roches composées, auxquelles on donne quelquefois différents noms; tels que : *calciphyre*, lorsqu'elles renferment des cristaux disséminés de certaines substances; *cipolin*, lorsqu'elles renferment du mica ou du talc en lamelles uniformément disséminées; *ophicalce*, lorsque ces matières sont disposées par veines ou par feuillets entrelacés; *calchiste*, lorsqu'elles offrent une masse schisteuse formée de feuillets alternatifs de schiste micacé ou talqueux et de calcaire, etc.

s. Laves. — Rappelons que les laves ne sont pas des roches particulières (§ 65 à 76, 178, 179) : ce ne sont que des manières d'être à la surface du globe qui appartiennent à diverses sortes de roches, comme les trachytes, les obsidiennes, les basaltes, etc. On applique particulièrement les noms de laves aux dépôts qui ont

coulé en bandes longues et étroites sur la pente des montagnes, ou se sont étendus en nappes dans la plaine.

§ 313. **Apparition des roches de fusion.** — D'après les données que nous avons rassemblées (§ 178 à 209), il est évident que les roches de fusion sont sorties à diverses époques de l'intérieur de la terre, à travers les dépôts de sédiment qu'elles ont soulevés, entre les couches desquelles elles ont été souvent injectées, et qu'elles ont quelquefois recouverts de leurs épanchements.

§ 314. *Roches granitoïdes.* — Ces roches ont commencé à paraître dès les premiers dépôts sédimentaires, et peut-être même y en a-t-il eu d'antérieurement épanchées à la surface du globe, qui seraient dès lors de véritables roches primordiales. Elles se sont ensuite continuées à toutes les époques que nous avons distinguées, et même jusqu'après les terrains tertiaires, comme en Toscane et à l'île d'Elbe suivant M. de Collegno. Il s'en est épanché en abondance dans les Alpes par-dessus le terrain jurassique, que les siénites ont elles-mêmes traversé à l'île de Sky.

On trouve souvent les granites complétement isolés des roches sédimentaires et formant à eux seuls des dépôts considérables couvrant de vastes contrées, comme le centre de la France, dans l'Auvergne et le Limousin; ils offrent alors le plus souvent un assemblage de buttes arrondies, fréquemment recouvertes de leurs débris désagrégés et réduits à l'état sableux. Mais dans ce cas même on reconnaît qu'il y en a des espèces de divers âges; les uns se présentent en filons au milieu des autres, ou bien forment des chaînes étendues qui, courant sous des directions différentes, annoncent par cela même diverses époques relatives d'apparition. Ainsi, sur le plateau central de la France, la masse fondamentale est un granite gris à petits grains, formé de quarz gris et de mica noir, et fréquemment associé au gneiss; mais çà et là on remarque des filons plus ou moins puissants de granite de diverses variétés et de pegmatite qui traversent cette base, ou bien des chaînes de granite porphyroïde à gros cristaux disséminés de feldspath laminaire, souvent rosâtre, comme dans la Creuse et la Lozère. Le granite du Morvan, à feldspath rougeâtre et mica vert, est encore différent, et son apparition se rattache à des époques plus modernes. On trouve aussi le granite, ou la siénite, passant tous deux alors au gneiss, et de là au leptynite et au micaschiste, intercalés avec des dépôts de sédiment. C'est ainsi que, d'une part, on les trouve avec les strates cumbriennes, siluriennes, dévoniennes, comme dans le Cotentin et la Bretagne, dans les Vosges et dans les Pyrénées, dans plusieurs parties de l'Angleterre, de l'Allemagne, en Hongrie, en Norvége, etc., et que d'autre

part ces roches existent parmi les divers dépôts qui se rapportent aux terrains jurassiques, comme dans les Alpes.

§ 315. *Porphyres, diorites, serpentines, trapps.* — Dès le moment de la formation des plus anciens terrains de sédiment, il a commencé à se faire des roches métamorphiques, et l'on voit paraître beaucoup de roches cristallines : ainsi des porphyres argileux et quarzifère s'y trouvent déjà liés avec des siénites et des granites, comme on le voit dans les Vosges, dans le Morvan, le Beaujolais, le Forez, etc. Mais ces matières se sont prolongées beaucoup plus haut; car elles traversent le terrain houiller, arrivent dans le grès rouge, où elles forment des amas, et même des nappes sous forme de plateaux assez étendus, et se lient souvent avec des dépôts de rétinite; c'est ce qu'on voit surtout en Allemagne, et ce qui se présente en France dans la partie nord des Vosges. Ces porphyres vont même jusque dans le grès bigarré, comme aux environs de Fréjus ; mais jusqu'à présent on ne les a pas vus pénétrer dans des dépôts plus modernes.

Les diorites de diverses variétés, qui commencent dès les premières époques de formation, se continuent beaucoup plus haut ; c'est ce qu'on voit pour les ophites, ou porphyres dioritiques, dont certaines variétés se trouvent déjà abondamment dans le terrain silurien, et dont plusieurs autres vont se terminer au-dessus de la craie, comme cela a lieu dans les Pyrénées, en soulevant jusqu'aux sables des Landes.

Quant à la serpentine et à l'euphotide, elles passent des dépôts siluriens dans le terrain houiller, où la serpentine se lie au trapp, comme à Noyant dans l'Allier, et forme quelquefois des buttes particulières, comme à Firmy dans l'Aveyron; elles parviennent dans le calcaire du Jura, s'intercalent dans ses diverses assises, comme dans la Spezia : ailleurs elles arrivent dans la craie, et s'épanchent jusque par-dessus les terrains tertiaires. C'est dans la partie supérieure de la série des terrains de sédiment que ces roches sont plus abondantes, comme on le voit sur le revers méridional des Alpes du Piémont, et dans les Apennins.

Les trapps se font déjà remarquer en Suède dans des terrains très-anciens. Ailleurs ils sont très-abondants au milieu des terrains houillers, et s'y trouvent intercalés en couches plus ou moins épaisses; c'est ce qu'on voit en France dans la vallée de la Queune, autour des houillères de Fins, et plus loin dans les houillères de Brassac, sur les bords de l'Allier; l'Angleterre nous en offre aussi de nombreux exemples. Dans d'autres lieux, ils traversent également les dépôts jurassiques, comme dans le Yorkshire, en plusieurs points

de l'Écosse, à l'île de Mull, etc. Enfin, en Irlande, ils se font jour à travers le terrain crétacé, s'y intercalent en bancs épais, et forment de vastes plateaux à sa surface.

Les mélaphyres ont peut-être bien commencé aussi à se faire jour dès les terrains les plus anciens, où ils se lient souvent avec les porphyres argileux, dont il n'est pas toujours facile de les distinguer dans certaines variétés ; mais on en trouve évidemment dans le grès rouge, comme dans les Vosges, et c'est à cette hauteur qu'ils apparaissent distinctement. Ils se continuent à travers les terrains jurassiques qu'ils ont soulevés ou modifiés dans le Tyrol, ainsi qu'entre le lac d'Orta et celui de Lugano; ils se prolongent même jusqu'à l'époque des terrains subapennins, dont ils ont redressé très-probablement les couches dans la Provence.

§ 316. *Basaltes*, *trachytes*, *etc.*— Le basalte paraît n'avoir commencé qu'à l'époque de la craie : d'un côté, nous avons les trapps douteux de l'Irlande, que quelques géologues regardent comme des basaltes, qui ont traversé ces sortes de dépôts et se sont épanchés en nappes au-dessus d'eux ; de l'autre, des basaltes bien caractérisés, avec péridot, se présentent dans le Vicentin en relation avec le terrain à nummulites, et les tufs basaltiques qui s'y rattachent non-seulement alternent avec des couches de cette espèce de calcaire, mais renferment eux-mêmes toutes les coquilles qui les caractérisent. De cette époque les basaltes ont continué à travers tous les dépôts de sédiment jusqu'à l'époque actuelle; non-seulement ils ont formé sur la pente des montagnes et dans les vallées, des coulées qui se rattachent à des cônes volcaniques à cratères, comme dans l'Eiffel et dans le Vivarais, mais encore ils coulent de nos jours en Islande.

Les trachytes ont peut-être commencé un peu plus tard que les basaltes ; nous n'en connaissons pas dans la craie, et les plus anciens se rapportent tout au plus à des terrains analogues au calcaire grossier parisien, comme j'ai cru le voir en Hongrie, si, à cette époque encore peu avancée de la science, je n'ai pas fait quelque confusion des calcaires supérieurs. Dans le Cantal, ils sont plus jeunes, et postérieurs au terrain de molasse ; ils sont en effet superposés aux dépôts d'eau douce de cette époque, qu'ils ont traversés et disloqués, et dont ils renferment des débris. Ils se continuent de nos jours, en formant des montagnes qui se soulèvent graduellement, ou de véritables coulées (§ 48, 74), aussi bien que les obsidiennes qui en font partie.

Les phonolites sont aussi à peu près de la même époque; cependant ces roches paraissent généralement s'être développées à part

aussi bien que le basalte; c'est-à-dire que suivant les localités, c'est tantôt l'une, tantôt l'autre de ces sortes de produits volcaniques qui a dominé. C'est à l'apparition des roches phonolitiques qu'on est conduit à attribuer le soulèvement des nappes trachytiques qui constituent les monts Dore et le Cantal.

Les amygdaloïdes, comme on peut le concevoir d'après ce que nous avons dit de leur nature, sont de tous les âges. Il en est qui se rattachent aux diorites et aux roches trappéennes, d'autres qui se joignent aux porphyres quarzifères, aux mélaphyres, ou bien aux phonolites et aux basaltes; par conséquent, elles suivent les éjections de ces diverses matières.

Tous ces détails nous montrent qu'il y a eu continuité dans les éjections de roches ignées depuis les époques les plus reculées jusqu'à nos jours : seulement elles ont été plus générales, plus considérables aux époques les plus anciennes, et les roches semblent être arrivées à la surface du globe dans un état plus pâteux que nous ne le voyons depuis l'époque de la craie; nous en jugeons à ce que les granites, les siénites, divers porphyres ne se sont pas répandus en nappes, comme nous le voyons pour les trapps, les trachytes et les basaltes.

§ 317. **Influence de ces roches sur les dépots de sédiment.** —Nous avons déjà montré ces sortes d'influences (§ 133, 187 à 213), depuis celles du basalte jusqu'à celles du granite, sur les dépôts qui ont été évidemment formés par l'eau; c'est donc en quelque sorte une récapitulation que nous avons à faire ici.

C'est dans les Alpes que les faits se présentent sur la plus grande échelle et nous offrent le plus de variations. Les calcaires qu'on trouve dans les avant-postes de cette chaîne de montagnes appartiennent évidemment au lias, caractérisé par la présence des bélemnites et accompagné de ses matières arénacées ou argileuses. Or, on peut suivre ces calcaires en divers points vers le centre de la chaîne, et on les voit alors se modifier d'un grand nombre de manières. Dans quelques points, ils présentent encore les bélemnites et quelques autres coquilles caractéristiques; mais déjà ils ont changé d'état : les uns sont devenus plus compactes, les autres légèrement cristallins, et se sont colorés de différentes manières. Les argiles schisteuses qui séparaient leurs assises sont passées à l'état de schistes micacés ou bien de schistes talqueux, auxquels préludent souvent d'autres matières qui conservent encore leurs caractères arénacés, où l'on voit le talc s'introduire par feuillets dispersés de place en place; les grès quarzeux sont devenus des quarz compactes et granulaires, tantôt simples, tantôt renfermant du mica.

D'autres roches arénacées ont pris un éclat plus vif, une consistance, une couleur particulières, et renferment des lamelles de mica, ou de talc, plus ou moins larges, qu'on ne voit pas partout ailleurs dans le terrain jurassique; il en résulte des roches qui prennent tous les caractères des grauwackes que nous avons indiqués dans les dépôts anciens (§ 230, etc). Tout cela alterne bientôt avec des micaschistes et des gneiss qui passent à de véritables granites en couches subordonnées, et plus ou moins semblables aux granites en masse, autour desquels tous les dépôts précédents sont relevés. Dans d'autres points de la chaîne on trouve des calcaires saccharoïdes, blancs ou colorés, simples ou remplis de paillettes de mica ou de toute autre substance, où toute trace de coquilles a disparu, comme cela a lieu également dans le voisinage des euphotides et des serpentines des Apennins (§ 200); enfin, dans quelques parties, les calcaires sont transformés en dolomies plus ou moins cristallines, comme nous en avons indiqué dans le voisinage des mélaphyres du Tyrol. Ajoutons que dans certaines vallées des Alpes on trouve sur les pentes divers lambeaux de gypse ou de karsténite qui sont dans des positions tout à fait anormales, qui ne se prolongent pas dans l'intérieur du terrain, où d'ailleurs ils se terminent toujours par des calcaires; c'est ce qu'on voit surtout dans les points où il s'est développé des roches amygdaloïdes ou des serpentines, précisément comme il arrive aussi dans les Pyrénées, partout où se présentent les ophites (§ 199, 200).

Maintenant, de deux choses l'une : ou il faut dire que l'ensemble de couches subordonnées au milieu duquel se trouvent les granites alpins, n'appartient pas à l'époque jurassique, ce qui aujourd'hui serait tout à fait absurde; ou bien il faut admettre que pendant l'émission des roches cristallines il s'est fait de nombreuses modifications dans les dépôts de sédiment qu'elles ont traversés, et qu'aux dépens des diverses matières argileuses et des roches arénacées, il s'est produit, par une action évidente, quoique de nature inconnue, des schistes argileux ou talqueux, des micaschistes et des gneiss; en un mot, tout ce qu'on nomme aujourd'hui des roches métamorphiques de toute espèce (§ 211 à 213).

Ces transformations, si évidentes, que présentent les dépôts de sédiment dans les Alpes, tendent à nous faire concevoir une multitude de circonstances plus ou moins analogues, dans un grand nombre d'autres localités où les altérations sont devenues plus profondes. C'est ainsi que nous comprenons les calcaires, plus ou moins saccharoïdes, en couches, ou même en espèces de filons, dans les gneiss les plus intimement liés au granite, comme en Limousin, ou

dans les porphyres, comme en Forez; nous concevons toutes les variations du calcaire dans les dépôts cumbriens, siluriens et dévoniens, si tourmentés en tous lieux par les injections de roches cristallines. Enfin, nous nous expliquons aussi les passages continuels des granites ou des porphyres aux schistes micacés, aux grès divers dans lesquels ils ont percé, comme dans les grès du lias en Bourgogne, les grès rouges dans les Vosges, les grès bigarrés dans le Var, les schistes argileux dans la Bretagne, l'Eiffel, les Vosges et le Forez.

§ 318. *Couches relevées et contournées.* — Un autre genre d'influence des roches cristallines se manifeste dans les dérangements qu'elles ont fait éprouver aux couches qu'elles ont traversées, qu'elles ont bousculées de toutes les manières et placées sous des inclinaisons plus ou moins rapides, comme on le voit partout au milieu des montagnes. Leur influence n'est pas moins remarquable dans les contournements quelquefois si compliqués, si bizarres même, qui sont aussi le résultat de leur apparition, et qui sont dus aux compressions que leur passage a fait éprouver aux dépôts qu'elles ont modifiés et ramollis, ou à ceux qui se trouvaient eux-mêmes à un état pâteux (§ 172, 224). Ces contournements se font surtout remarquer dans les roches schisteuses diverses des terrains anciens, comme dans la Bretagne, dans les Vosges, dans le groupe central de la France, dans les dépôts jurassiques métamorphisés des Alpes, dans les terrains houillers, où probablement les matières conservaient en elles-mêmes une certaine mollesse.

§ 319. **Anciennes divisions des couches du globe.** — Dès les premiers temps de l'étude des dépôts qui composent la croûte du globe, on a reconnu que les uns renfermaient des débris organiques et des cailloux roulés; tandis que les autres, tels que granites, porphyres, etc., n'en offraient aucun indice. On a vu en beaucoup de lieux les premiers reposer sur les seconds, et l'on a cru que c'était là la règle générale. Dès lors ceux-ci ont été regardés comme les premiers membres de la création, comme ayant été faits, par voie de cristallisation aqueuse, avant l'apparition de tous les êtres organisés qui ont ensuite peuplé les mers. On leur a donné le nom de *terrains primitifs*, et, par opposition, les autres ont été nommés *terrains secondaires*. Plus tard, on s'aperçut qu'en certains lieux les roches qu'on avait remarquées dans les terrains primitifs ne cessaient pas brusquement d'exister, et qu'à la jonction des terrains secondaires elles alternaient avec des couches arénacées, avec des dépôts coquilliers. On en a conclu que là se trouvaient la fin d'un certain ordre de choses et le commencement d'un autre, et l'on a conçu l'idée d'une *époque* particulière de formation durant

laquelle il s'est produit un *terrain intermédiaire*, ou *terrain de transition*. Plus tard, remarquant qu'à la fin de la série secondaire il se trouvait des dépôts où les débris organiques rappelaient beaucoup plus les êtres actuels que les débris des dépôts précédents, on a adopté une quatrième division, qu'on a nommée *terrain tertiaire*. On a même imaginé une division de *terrains quaternaires*, d'un côté pour les faluns de Touraine, supérieurs aux dépôts parisiens, de l'autre, pour les dépôts subapennins, enfin, pour des sédiments plus modernes dans lesquels on a trouvé des traces de l'industrie humaine (§ 153). Ces divisions n'ont jamais eu rien de bien fixe; on ne savait trop où commençait le terrain de transition, ni où il finissait pour faire place au terrain secondaire. Pour les terrains tertiaires, on est convenu généralement de les faire commencer après la craie, mais il n'y a rien de fixe pour les terrains quaternaires.

§ 320. On voit que nous sommes aujourd'hui fort loin des idées qui ont présidé à l'établissement de ces sortes de divisions. D'un côté, en effet, plusieurs des dépôts cristallins qu'il nous est possible de voir à la surface du globe, loin d'être primitifs et d'avoir préexisté à la création organique, ont au contraire apparu après beaucoup de dépôts secondaires et même tertiaires des plus élevés (§ 197 à 206, 313). D'un autre côté, ce n'est plus seulement dans un point de la série que le primitif et le secondaire se trouvent mêlés; c'est réellement à tous les étages, tantôt sur une grande échelle et avec de nombreuses modifications des roches soulevées, tantôt sur une échelle plus petite qui ne laisse apercevoir qu'une faible masse intercalée. Ce serait donc tout embrouiller que de conserver maintenant une telle division, et c'est pour cela que nous avons évité jusqu'ici d'en parler; nous n'en parlerions même pas si, depuis longues années, de savants travaux, d'illustres professeurs n'avaient fait partout contracter une telle habitude de ces expressions, surtout celles de *primitifs* et de *secondaires*, qu'il n'est pas possible de les faire oublier subitement, et qu'il faut dès lors en connaître la valeur réelle.

Les véritables roches primitives, celles qui résultent de la première consolidation de la surface du globe incandescent, celles sur lesquelles la vie a dû commencer au sein des mers (§ 131 à 137), nous sont réellement inconnues. Toutefois il est clair que ce sont des roches formées par cristallisation ignée; et comme parmi celles-ci le granite est ce qu'il y a de plus abondant, comme cette roche se montre sur de grands espaces dès les premiers dépôts de sédiment, on a été conduit à penser qu'elle formait aussi la base principale de nos continents. Cependant il nous est impossible de distinguer

aujourd'hui ceux de ces granites qui pourraient avoir été simplement soulevés, de ceux qui sont venus à travers s'intercaler dans toutes les formations. Quoique nous trouvions de vastes étendues de terrains occupées entièrement par des granites, qui sont même recouverts par des dépôts cumbriens, nous ignorons complétement si ces roches sont réellement antérieures à ces formations, ou si elles s'y sont introduites, et s'il n'y a pas même au-dessous d'elles quelque autre dépôt sédimentaire.

§ 321. L'expression *terrain primitif* doit donc être rejetée comme indication d'âge relatif; mais rien n'empêche de l'employer comme synonyme de *terrain très-ancien*, ou même de *terrain granitique*, sans distinction d'âge, en comprenant sous ce nom les *siénites* et les *gneiss* formés par de très-anciens métamorphismes. On emploie souvent aussi l'expression de *terrain de transition;* mais on oublie encore l'idée qui l'a déterminée, et l'on comprend sous ce nom l'ensemble des terrains cumbriens, siluriens et dévoniens, avec toutes les roches cristallines qui s'y sont intercalées. Par *terrains secondaires*, on entend toute la série des dépôts qui viennent ensuite, y compris le terrain crétacé supérieur. Enfin, par l'expression de *terrain tertiaire*, on entend les trois divisions qui terminent la série régulière, après laquelle viennent les dépôts diluviens et les dépôts modernes, qu'on nomme quelquefois *terrain quaternaire.*

COMPOSITION GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE.

§ 322. **Idées générales.** — Pour connaître à fond la composition géologique de la France, il n'y a rien de mieux à faire que d'étudier sérieusement les résultats de l'immense travail entrepris depuis longues années par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, avec les descriptions et les cartes que ces savants ont successivement publiées. Mais si nous sommes forcé de renvoyer, pour tous les détails, à ces grands ouvrages, nous allons essayer d'en extraire des généralités, et d'en tirer ce qui peut faire connaître les relations et les dispositions des principaux terrains qui constituent notre sol.

Le terrain jurassique (§ 255 à 268), est celui qui offre le plus d'étendue relative à la surface de la France et qui s'y montre surtout de la manière la plus continue. Il se présente en quelque sorte comme une moyenne placée tout exprès pour distinguer les différents terrains que nous avons à décrire, étant plus moderne que les uns sur lesquels il s'appuie, et plus ancien que les autres que ses pentes supportent de toute part. Son expansion, ses contours et ses nombreuses ramifications partagent d'ailleurs la France en quatre

régions principales (fig. 353), dont deux sont antérieures, comme la Bretagne avec une partie du Poitou, de l'Anjou, du Maine et de la Normandie, et au centre, le Limousin avec la Marche, l'Auvergne, le Lyonnais et une partie du Languedoc. Les deux autres, au contraire, sont postérieures, comme le grand bassin de Paris, et celui qui s'étend de l'Angoumois au pied des Pyrénées. Dans la partie orientale de la carte, on voit ce calcaire limiter encore quelques dépôts du même genre placés entre ses ramifications.

§ 323. *Détails sur les régions antéjurassiques.* — La Bretagne se compose de deux chaînes granitiques : l'une au nord, formée d'une multitude d'îlots, dont l'ensemble se dirige de l'est à l'ouest ; l'autre plus continue, de Brest vers Poitiers. Entre ces deux chaînes se présentent les dépôts cumbrien, silurien et dévonien (§ 230 à 234) ; le premier ne se trouvant nulle autre part en France, le second se représentant dans les Ardennes, l'Eiffel et le Hundsruck, peut-être dans les Pyrénées ; enfin le troisième se retrouve d'une part entre Avesnes et Liége, de l'autre dans les Pyrénées ; il forme en outre quelques petits dépôts dans les montagnes de Tarare et du Beaujolais et au pied méridional des Vosges.

Le Limousin, et les provinces adjacentes, se composent principalement d'un granite gris, au milieu duquel s'élèvent çà et là des buttes de granite divers. Cette région se prolonge au sud en presqu'îles, l'une vers Carcassonne, l'autre jusqu'au Vigan ; une troisième au nord vers le Morvan.

On retrouve des roches granitiques dans les Vosges, avec les indices du terrain dévonien, puis en Provence, entre Toulon et Antibes. Quant à celles qu'on remarque dans les Alpes, sur la direction N. N. E., elles ont traversé le calcaire jurassique et se sont épanchées au-dessus (§ 205 ; elles sont donc postérieures à cette formation.

La formation houillère (§ 237 à 244) se voit en Belgique ainsi que dans la Prusse rhénane ; elle se trouve en France autour du plateau central et à sa surface, puis en Poitou, en Bretagne, dans le Cotentin ; enfin on en revoit des traces au sud-est de Toulon.

Quant à la formation pénéenne (§ 247), elle n'offre en France que le grès rouge, dont il y a de faibles traces dans les Vosges. Le grès vosgien, plus étendu, ne s'est encore trouvé que dans la contrée dont il a pris le nom et sur les bords du duché de Bade.

Le trias (§ 250) se trouve avec ses trois parties dans cette contrée, où il occupe un espace assez considérable. Ailleurs il n'offre le plus souvent que les grès ou les marnes irisées, comme dans la Manche, l'Allier, la Corrèze, le Tarn, l'Hérault, l'Aveyron, puis dans les Pyrénées ; on retrouve les grès et les calcaires dans le Var.

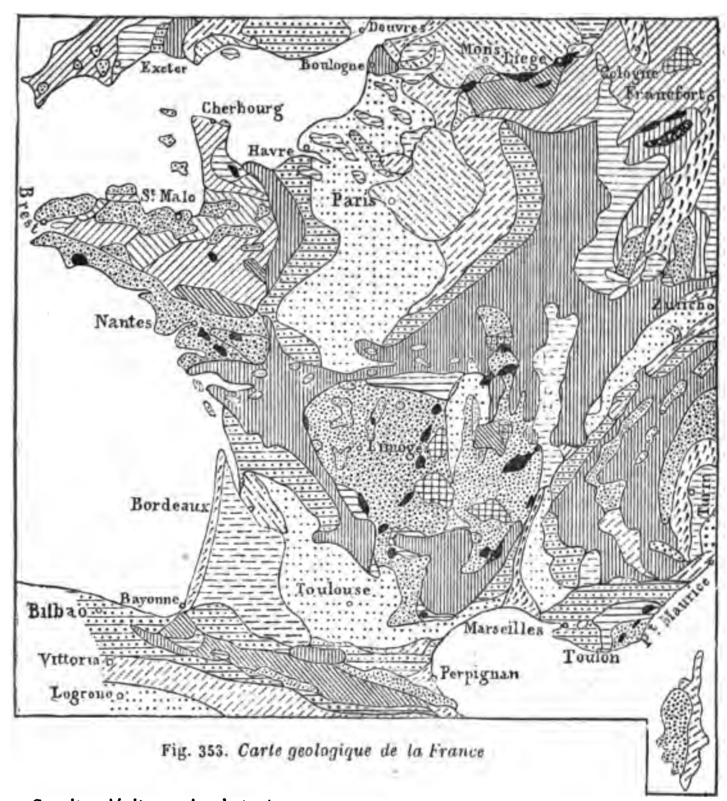


Fig. 353. *Carte geologique de la France*

Granite, siénite, gneiss de tout âge	
Terrain cumbrien	
Terrain silurièn	
Terrain dévonien	
Dépôts houillers	
Dépôts pénéens	
Grès vosgien	
Terrain triasique	
Terrain jurassique	
Terrain crétacé inférieur	
Terrain crétacé supérieur	
Terrain parisien	
Terrain de molasse	
Terrain subapennin	
Dépôt diluviens et modernes	
Roches volcaniques	
Porphyres	

§ 324. *Régions postjurassiques.* — Dans la région basse dont Paris est le centre, on trouve successivement, sur les pentes des dépôts jurassiques, les deux formations crétacées (§ 271 à 282) dont la supérieure se prolonge en Normandie sous des dépôts superficiels. Par-dessus vient le calcaire parisien (§ 283), qui se prolonge en Belgique, puis la molasse (§ 289), qui s'étend jusque vers le Poitou et la Marche. Cette dernière forme même une multitude d'îlots sur le calcaire jurassique, qui, d'un côté, vont rejoindre la Rochelle, et de l'autre, se lient à des dépôts analogues de l'Auvergne. Les dépôts subapennins (§ 295), ne se montrent qu'au nord, en flaques nombreuses, au sommet des montagnes de la haute Normandie.

La région de la Guyenne présente au nord le terrain crétacé inférieur, puis un petit dépôt de calcaire parisien autour de Bordeaux; la molasse s'étend ensuite jusqu'au pied des Pyrénées, d'où elle va rejoindre, par un canal étroit, les dépôts analogues de la vallée du Rhône; toute la partie occidentale est formée de terrains subapennins. A la limite sud du bassin, les Pyrénées nous offrent de nouveau les terrains crétacés inférieurs, avec un léger dépôt supérieur à l'extrémité orientale. Ces deux formations se retrouvent au delà du dépôt dévonien, sur la frontière d'Espagne.

Le Dauphiné et la Provence nous offrent de grands dépôts du terrain crétacé inférieur, où la formation néocomienne est surtout très-développée. La craie supérieure ne se trouve qu'autour de Barcelonnette, d'où elle se prolonge en petits dépôts jusqu'à Port-Maurice. Il n'y a pas de traces de calcaire parisien, et l'on ne trouve que la molasse étendue dans tout le bas de la vallée du Rhône et en Suisse. Les dépôts subapennins s'étendent de Valence jusque très-haut dans la vallée de la Saône; on les retrouve en Suisse à la hauteur de Bâle, et au sud, dans la Provence, entre Aix et Sisteron; enfin on en voit le commencement à l'est de Turin.

Les dépôts diluviens (§ 302), outre qu'ils se trouvent sous forme de dépôts erratiques dans une multitude de localités, se présentent encore dans toutes nos grandes vallées, surtout dans celles du Rhin, du Rhône, du Pô, etc., où ils sont souvent peu distincts des alluvions modernes, qui ont formé les deltas, les cordons littoraux et les plages de sable. Ce sont ces derniers dépôts qui se manifestent le plus communément, depuis l'embouchure du Rhône jusqu'à Perpignan, de Bayonne à la Rochelle, de Calais jusqu'en Hollande, etc.

Les dépôts volcaniques se trouvent depuis l'Auvergne jusqu'au milieu du Languedoc, puis aux environs de Brignoles et de Toulon; mais les centres principaux d'éruption, offrant des trachytes, des basaltes et des laves, se trouvent autour de Clermont, au mont Dore,

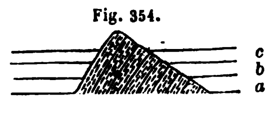
au Cantal, au Mezin, dans le Velay et le Vivarais. On trouve d'autres centres sur les bords du Rhin, à la hauteur de Coblentz et de Cassel.

AGES RELATIFS DES PRINCIPALES CATASTROPHES DU GLOBE.

§ 325. **Remarques préliminaires.** — Si la terre n'avait jamais subi aucun bouleversement, les couches sédimentaires dont se compose son écorce solide, rigoureusement concentriques, se recouvriraient toutes successivement, et la dernière, enveloppant toutes celles qui l'ont précédée, se trouverait elle-même sous les eaux, qui s'étendraient en une mer sans bornes. Il n'y aurait dès lors aucune terre visible, et le genre humain n'existerait pas; d'où il suit qu'avant toute création terrestre, il est d'absolue nécessité que le globe ait été le théâtre de diverses catastrophes, pour élever successivement les terres au-dessus des eaux, et établir un ordre de choses plus ou moins analogue à celui que nous voyons. Il fallait que *l'aride parût*, et l'observation nous permet d'ajouter, il fallait qu'il parût par portions successives pour déterminer toutes les variations de nature, de forme, d'humidité, de sécheresse, dont l'ensemble devait procurer à l'homme la somme de bien-être que le Créateur lui destinait ici-bas. La recherche des apparitions successives des terres est un des plus beaux points de vue sous lesquels on puisse envisager la géologie; et nous devons à M. Élie de Beaumont de nous avoir ouvert la route, en établissant l'ordre chronologique des principales catastrophes arrivées en Europe, et autour desquelles se grouperont tous les faits du même genre. Nous allons donner une idée générale de ce travail; mais, avant de raconter ces grands événements, il est bon de faire voir comment on parvient à les distinguer les uns des autres.

§ 326. Lorsque nous voyons quelque part des couches sédimentaires inclinées, nous pouvons prononcer qu'elles ont été dérangées de leur position originaire, et qu'il y a eu soulèvement, § 152 à 171. L'époque de cet accident reste d'abord indéterminée; mais si, au pied des proéminences plus ou moins élevées que ces couches redressées produisent, nous trouvons d'autres sédiments, *a*, *b*, *c*, etc. (fig. 354), en couches horizontales appuyées contre les précédentes, il devient évident que le soulèvement des premières a eu lieu avant la formation des secondes, qui se trouvent encore telles qu'elles ont été produites sous les eaux. Nous avons alors un terme de comparaison, et si nous parvenons à reconnaître

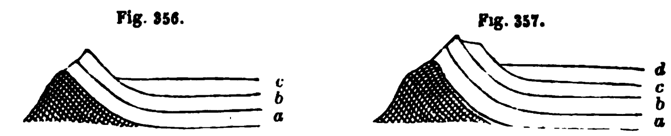
Fig. 354.



l'âge relatif du dépôt horizontal, nous avons aussi une époque relativement déterminée de la catastrophe qui a produit le redressement de l'autre. Or, partout on reconnaît de ces différences de stratification sur les flancs des montagnes, et l'on observe alors que les divers dépôts sédimentaires ne sont pas indifféremment dans l'une ou l'autre des positions. Dans certains lieux, on voit, par exemple, le terrain *a* redressé (fig. 355) et le terrain *b* horizontal. Dans un autre, *a* et *b* sont redressés à la fois (fig. 356), et c'est le terrain *c* qui est horizontal; dans un troisième, *a*, *b*, *c* sont relevés ensemble, et un autre terrain *d* s'appuie horizontalement sur eux (fig. 357), etc.

Fig. 355.

Fig. 356. Fig. 357.



On conclut necessairement de ces observations qu'un premier soulèvement s'est fait après la formation de *a* et avant celle de *b*; qu'un second s'est fait entre *b* et *c*, un troisième entre *c* et *d*, etc., et ainsi de suite, chronologiquement, tant qu'on en observe.

§ 327. **Système de soulèvement.** — Remarquons maintenant que si la position inclinée des couches sédimentaires nous révèle l'existence des soulèvements, la direction de ces couches, qui n'est autre chose que celle de la ligne de faîte produite par leur bombement, ou la crête qui résulte de leur rupture (§ 167), nous montre l'alignement qu'a suivi le phénomène. De là il suit qu'on peut à volonté prendre un des faits pour l'autre comme base d'observation, et que les directions diverses des chaînes de montagnes sont aussi les indices de diverses sortes de soulèvements. En effet, d'un côté, il est parfaitement établi que l'inclinaison des couches est en relation intime avec la direction des chaînes, sauf les perturbations qui résultent des croisements; de l'autre, on sait que le phénomène du redressement d'un nombre de couches déterminé s'étend aussi loin que la chaîne elle-même. Il est également constaté que les chaînes parallèles correspondent en général à la même époque de soulèvement; c'est-à-dire que dans ces chaînes ce sont les terrains du même âge qu'on trouve partout redressés, et que les suivants sont placés horizontalement. Il suit de cette circonstance qu'un soulèvement ne s'est pas fait purement sur une ligne mathématique, mais sur une bande de terrains plus ou moins large, sur laquelle il s'est mani-

festé par plusieurs crêtes parallèles. Remarquons aussi que la même ligne n'est pas toujours continue d'un bout à l'autre, qu'il s'y trouve çà et là des parties hautes et des parties basses, et que celles-ci sont souvent cachées par des dépôts postérieurs; c'est donc l'alignement des diverses crêtes élevées qu'on doit prendre pour direction.

L'ensemble des directions sur une même ligne, et des directions parallèles, forme ce qu'on nomme un *système de soulèvement*, expression synonyme de système de fractures, système de couches redressées, et même système de montagnes, mais dans un sens plus déterminé qu'en géographie. Pour désigner les différents systèmes, on a emprunté des dénominations aux lieux où chacun d'eux trouve particulièrement développé : c'est ainsi qu'on dit *système des Pyrénées, système des Alpes occidentales*, etc.

Les diverses catastrophes qui ont eu lieu à la surface du globe paraissent toujours avoir été brusques. En effet, loin des lieux où la discordance de stratification se manifeste, on trouve souvent les mêmes dépôts en stratification concordante, et même liés entre eux par des passages graduels; d'où il suit que la sédimentation n'a pas été suspendue, que le mouvement du sol a été local, et que l'intervalle pendant lequel il s'est opéré a dû être extrêmement court. C'est ce qu'on voit clairement, par exemple, à l'époque du système du Rhin, où le grès vosgien s'est trouvé soulevé sur une certaine étendue sans que le grès bigarré ait participé à l'action; et cependant, à peu de distance, les deux dépôts arénacés, là où leur stratification est concordante, sont tellement liés entre eux que l'on ne sait où l'un commence et où l'autre finit. Il en est de même des terrains crétacés; si plusieurs de leurs dépôts sont discordants en quelques points, ils sont tout à faits concordants ailleurs, et ils offrent alors de tels passages de l'un à l'autre qu'on les a longtemps confondus en une seule formation.

§ 328. **Terrains submergés et découverts**. — Les couches sédimentaires appuyées horizontalement sur les flancs des montagnes, annoncent que les mers sont venues battre au pied des escarpements produits par les soulèvements antérieurs; de là les expressions de mer de tel ou tel terrain, comme *mer crétacée*, *mer jurassique*, etc., qui indiquent les eaux sous lesquelles chacun de ces dépôts sédimentaires s'est formé. L'absence d'un dépôt, sur une étendue plus ou moins considérable, nous indique que le terrain précédent était alors au-dessus des mers, et y formait une île plus ou moins élevée. C'est ainsi que le plateau central de la France a dû être à sec dès les époques les plus reculées, et qu'au moment de la formation parisienne, la plus grande partie de l'Europe même

devait être découverte, puisque nous voyons à peine quelques traces de ces dépôts ailleurs qu'aux environs de Paris ou de Bordeaux. Mais il arrive aussi que les parties qui se trouvaient à sec en un certain moment ont été ensuite recouvertes par des sédiments plus modernes, d'où il faut conclure qu'elles se sont affaissées pour recevoir ces nouveaux dépôts : c'est par de tels affaissements que certaines catastrophes sont surtout caractérisées.

§ 329. **Direction des divers systèmes.** — Les soulèvements jusqu'ici classés se distinguent éminemment par leurs directions, et c'est pour en donner une idée que nous les avons tracées (fig. 358), bien que pour cela il eût été convenable de rapporter toutes les directions au même méridien, ce qui est impossible dans une seule figure.

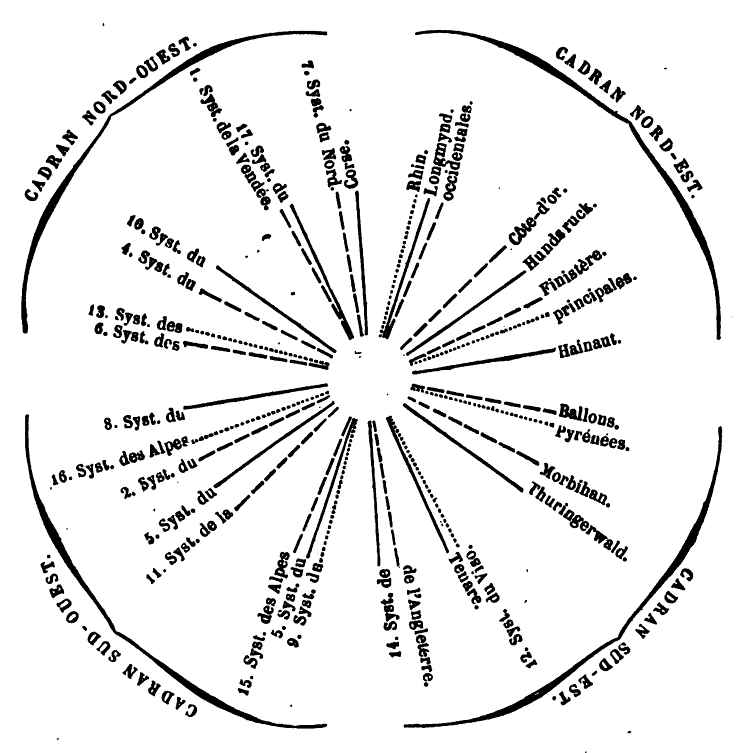


Fig. 358. *Direction des principaux soulèvements.*

L'ordre de succession et les directions exactes, du moins en moyenne, sont indiqués dans le tableau suivant:

1er	Soulèvement	(Vendée)...........	N.-N.-O.	rapporté	à Vannes.
2e	—	(Finistère...........	O 21° S.	—	à Brest.
3e	—	(Longmynd)........	N. 23° E.	—	à Vannes.
4e	—	(Morbihan)..........	O. 38° N.	—	à Vannes
5e	—	(Hundsruck)........	O. 31° S.	—	au Bingerloch.
6e	—	(Ballons)............	O. 15° N.	—	aux Ballons.
7e	—	(Nord de l'Angleterre)	N. 5° O.	—	au N. de l'Angleterre.
8e	—	(Hainaut)...........	O. 5° S.	—	aux Pays-Bas.
9e	—	(Rhin).............	N. 21° E.	—	dans le Haut-Rhin.
10e	—	(Thuringerwald)....	O. 40° N.	—	au Thuringerwald.
11e	—	(Côte-d'Or)........	O. 40° S.	—	à la Côte-d'Or.
12e	—	(Mont Viso)........	N.-N.O.	—	au mont Viso[1].
13e	—	(Pyrénées).........	O. 18° N.	—	aux Pyrénées.
14e	—	(Corse)............	N.	—	
15e	—	(Alpes occidentales .	N. 26° E.	—	aux Alpes du Dauphiné.
16e	—	(Alpes principales)..	O. 16° S.	—	aux Alpes du Valais.
17e	—	(Ténare)		—	en Grèce.

§ 330. On voit ici qu'il y a des soulèvements dirigés du cadran N.-O. au cadran S.-E., comme les 1er, 4e, 6e, 7e, 10e, 13e, 17e; d'autres, au contraire, dirigés du cadran N.-E. au cadran S.-O., qui dès lors ne peuvent être confondus avec les premiers. Les deux plus anciens, *Vendée* et *Finistère,* sont, à 1 degré et demi près, perpendiculaires entre eux, ce qui a lieu aussi, à 5, 6, 8 degrés près, entre le *nord d'Angleterre* et le *Hainaut,* transportés à Vannes, entre le mont *Viso* et les *Alpes principales,* entre les *Pyrénées* et les *Alpes occidentales.*

Plusieurs soulèvements divisent l'angle formé par les directions de ceux qui les ont précédés en deux parties égales; tels sont le *Longmynd* entre la *Vendée* et le *Finistère*, le *Hundsruck* entre la *Vendée* et le *Morbihan,* les *Ballons* entre le *Finistère* et le *Morbihan*, le *Nord d'Angleterre* entre le *Finistère* et les *Ballons*, tous rapportés à *Vannes.*

Quelques-uns partagent ces angles dans le rapport de 1 à 2, comme le *Morbihan*, relativement au *Finistère*, et au *Longmynd*, et le *Hainaut* relativement au *Finistère* et aux *Ballons.* D'autres les divisent dans le rapport de 2 à 3, comme le *Hundsruck*, relativement au *Finistère* et au *Longmynd*, le *nord d'Angleterre* relativement à la *Vendée* et au *Longmynd*, le *Hainaut* relativement au *Morbihan* et au *Hundsruck*; le *système de Corse* relativement à la *Côte-d'Or* et aux *Pyrénées.*

§ 331. On peut remarquer (fig. 358) qu'il y a des soulèvements qui sont en quelque sorte réunis par groupes. Cela tient en partie à ce

[1] La direction N.-N.-O. en Provence ne correspond que de nom à celle du système de la Vendée en Bretagne; on trouverait plusieurs degrés de différence, par suite de la convergence des méridiens, si l'on rapportait l'un au même lieu que l'autre.

que les angles de direction ne sont pas tous rapportés au même lieu : mais il semble en outre que les soulèvements tendent à revenir après plus ou moins de temps, vers les directions antérieures, ce qui a eu lieu pour le système de la Côte-d'Or, qui est rentré dans le système du Rhin en traversant le Morvan, le Beaujolais, etc. Nous verrons (§ 347) que des éjections volcaniques se sont fait jour à travers les fissures produites par d'anciennes dislocations.

§ 332. **Position géographique.** — En portant sur une carte (fig. 359) les divers systèmes de soulèvement, on remarque au premier coup d'œil les deux groupes de directions précédemment indiqués ; celui du cadran N.-E., qui, des bords du Rhin étend ses divisions jusqu'en Provence, avec quelques indications en Bretagne ; et celui du cadran N.-O., qui, de la Normandie, de la Bretagne, des Pyrénées traverse la France jusqu'aux Apennins En observant en outre les directions particulières, nous allons de plus distinguer chaque espèce de soulèvement.

1° Dans le groupe du cadran N.-E. au cadran S.-O., on distingue le *système du Hundsruck*, ———, caractérisé par des directions de couches O. 34° S, terme moyen. On voit ce système se prolonger en Allemagne, et on le retrouve en plusieurs points de la Bretagne, dans l'Ardèche, dans l'Aude, etc.

Plus au sud se voit le *système du Rhin*, •—•—•—, courant N. 21° E., indiqué sur les bords du fleuve par des directions de falaise, et dont on retrouve les traces entre la Saône et la Loire, et à l'extrémité des Cévennes.

Vers le centre du groupe, se remarque le *système des Alpes occidentales*, ———, courant N. 26° E., et présentant plusieurs chaînes parallèles à l'est et à l'ouest ; puis le *système des Alpes principales*, •—•—•—, courant O. 16° S., avec d'autres chaînes parallèles, soit vers la Suisse, soit vers le comtat d'Avignon et la Provence. Leur croisement détermine le mont Blanc et le mont Rose, les colosses de nos contrées, qui s'élèvent à environ 4800 mètres.

A l'ouest des Alpes occidentales se trouve le *système de la Côte-d'Or*, ———, courant O. 40°. S , parallèlement auquel se dirigent toutes les crêtes du Jura et toutes les Cévennes.

En Bretagne se trouvent plusieurs directions de couches qui marquent d'une part le *système du Finistère*, ———, allant O. 21° S., et que l'on voit autour de Brest, au centre de la Bretagne, dans la Manche, puis dans les Pyrénées ; de l'autre le *système du Longmynd*, —·—·—·, courant N. 25° E., qu'on reconnaît au centre du pays, puis en Normandie et enfin dans quelques filons granitiques du Limousin.

Citons encore le *système du Hainaut*, ———, dirigé presque de

l'est à l'ouest, entre Liége et Lille, qui se distingue par des dislocations de terrain et dont on retrouve des traces très-nettes en Bretagne.

2° Dans le groupe du cadran N.-O, au cadran S.-E., nous trouvons le *système du nord d'Angleterre*, ••••••••••, courant N. 5° O., qu'on ne voit guère en France que dans des directions de couches à l'extrémité ouest de la Bretagne, et dans les montagnes de Tarare; puis le *systeme de la Vendée*, —oo—, dirigé N.-N.-O., qu'on voit dans les couches schisteuses à l'embouchure de la Villaine, à Pontivy et dans la Vendée; enfin le *système du Morbihan*, oo—oo, O. 38° N., qui dessine les côtes ouest de Bretagne et se retrouve dans les couches de gneiss de la Corrèze, de l'Aveyron et de Castres.

Fig. 359.



Orientation des principaux soulèvements en France et dans les contrées voisines.

1. —o o— Système de la Vendée.
2. — — — — Système du Finistère.
3. —.—.—. Système du Longmynd.
4. o o — o o Système du Morbihan.
5. Système du Hundsruck.
6. Système des Ballons.
7. •••••••••• Système nord d'Angleterre.
8. Système du Hainaut.
9. Système du Rhin.
10. ^^^^^ Système du Thuringerwald.
11. Système de la Côte-d'Or.
12. ——— Système du mont Viso.
13. Système des Pyrénées.
14. +++++++ Système de Corse.
15. Système des Alpes occident.
16. Système des Alpes princi.
17. Système du Ténare.

Le *système des Ballons*, -·-·-·-, dirigé O. 15° N., se remarque aussi dans des directions de couches en Bretagne, dans la chaîne des Ballons des Vosges, dans les chaînes granitiques de la Lozère, dans les couches de gneiss du Limousin.

Le *système des Pyrénées*, ═══, dirigé O. 18° N, et presque parallèle au système des Ballons, se retrouve dans le nord de la France ainsi que dans les Apennins.

Le *système de Corse*, ++++++ , dirigé du nord au sud, se fait remarquer dans les montagnes qui séparent les hautes vallées de la Saône, de l'Allier et de la Loire. C'est aussi la direction des îles de Corse et de Sardaigne.

Enfin il y a encore quelques autres systèmes, savoir : le *système du Thuringerwald*, ~~~~~~, courant O. 4° N., très-net en Allemagne, mais qui ne se voit en France que dans les fractures du grès bigarré des Vosges et du Quercy, dans les buttes de serpentine qui se succèdent du Limousin dans la Vendée; le *système du Viso*, ———, dirigé N.-N.-O., en Provence, distingué par une série de fractures qui s'étendent à travers les Alpes jusque dans la Bresse, aussi bien que des Pyrénées jusqu'au Poitou ; enfin le *système du Ténare*, ·-·-·-·-, très caractérisé en Grèce, en Toscane, mais dont nous n'avons chez nous que des indices en Provence.

§ 333. **Époques relatives des divers systèmes.** — On conçoit que des directions aussi peu différentes que plusieurs de celles que nous venons de voir, forcément variables d'un méridien à l'autre, et fréquemment dérangées par les soulèvements subséquents, laisseraient entre elles beaucoup d'incertitudes, si l'on ne joignait à leur indication la considération des époques relatives, comme dans le tableau suivant :

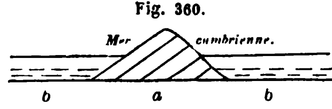
1er Soulèvement, avant les terrains cumbriens de la Bretagne.
2e Soulèvement, entre les dépôts cumbriens et les ardoises vertes du Longmynd.
3e Soulèvement, entre les ardoises vertes et le calcaire de Bala.
4e Soulèvement, entre le calciare de Bala et les dépôts siluriens.
5e Soulèvement, entre le terrain silurien et le terrain dévonien.
6e Soulèvement, entre le terrain dévonien et le terrain houiller.
7e Soulèvement, entre le terrain houiller et les dépôts pénéens.
8e Soulèvement, entre les terrains pénéens et le grès vosgien.
9e Soulèvement, entre le grès vosgien et le trias.
10e Soulèvement, entre le terrain de trias et le terrain jurassique.
11e Soulèvement, entre le terrain jurassique et le terrain crétacé inférieur.
12e Soulèvement, entre les deux terrains crétacés.
13e Soulèvement, entre le terrain crétacé supérieur et le calcaire parisien.
14e Soulèvement, entre le calcaire parisien et la molasse.
15e Soulèvement, entre la molasse et le terrain subapennin.
16e Soulèvement, entre le terrain subapennin et le diluvium.
17e Soulèvement, après le diluvium et peut-être quelques alluvions modernes.

Donnons maintenant quelques détails sur chacune de ces grandes catastrophes, qui ont donné lieu à l'apparition des diverses parties des continents et les ont successivement modifiées.

§ 334. **Premier soulèvement, système de la Vendée.** — Les terrains anciens présentent presque partout, et souvent dans des points très-rapprochés, un assez grand nombre de variations dans les directions de leurs couches, et c'est par des moyennes qu'on a dû procéder d'abord pour établir les angles qui ont fixé la direction des soulèvements; mais des observations plus exactes, plus multipliées, une discussion plus minutieuse des faits, ont conduit à revenir sur les premières déterminations, et M. Élie de Beaumont a dès lors reconnu quatre nouveaux systèmes antérieurs à celui qu'il avait alors regardé comme étant relativement le plus ancien.

Le système de la Vendée, —oo—, est aujourd'hui le plus ancien parmi ceux qui sont connus. Il se manifeste par des redressements opérés dans les roches de cette époque et qui en ont dirigé les couches au N.-N.-O. C'est ce qui a eu lieu dans les schistes, micaschistes et gneiss de la partie occidentale de la Bretagne, qui ont été relevés avant les dépôts cumbriens (fig. 360), peut-être par la première apparition de certains granites, dont il se trouve des buttes depuis la Manche jusqu'à Parthenay, et qui auront subi plus tard des changements de direction et une surélévation. On a peu étudié ce système, et on ne peut guère indiquer pour en constater l'existence que certaines directions de schistes luisants et satinés de Belle-Isle en mer, de l'embouchure de la Villaine, des couches de micaschistes ou gneiss des bords du Blavet vers Pontivy, ainsi que celles des mêmes roches vers Bourbon-Vendée et Beaupréau.

Fig. 360.



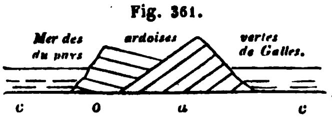
1er Soulèvement, système de la Vendée.

Ce système, d'après sa direction N.-N.-O. à Vannes, pourrait peut-être se confondre avec celui du mont Viso, qui porte la même dénomination d'alignement. Mais outre que l'un d'eux, transporté au même point que l'autre, offrirait plusieurs degrés de différence, le système du mont Viso n'a eu lieu qu'après le terrain crétacé inférieur, par conséquent bien longtemps après celui de la Vendée, qui se présente aujourd'hui comme le premier de tous.

§ 335. **Deuxième soulèvement, système du Finistère.** — Ce soulèvement, —·—·—, dont la direction est perpendiculaire à celle du premier courant O. 21° S, est encore marqué par des directions

de couches que présentent (fig. 361) les gneiss et micaschistes des environs de Brest, les schistes cumbriens qui se trouvent entre Pontivy et Falaise, et les schistes chloritiques de Cherbourg qui en dépendent. On retrouve ce système de stratification dans le Cumberland, dans la partie centrale de la Suède, entre Gotheborg, et Upsal, d'où il se prolonge dans le midi de la Finlande. Il paraît aussi former les accidents les plus anciens des Pyrénées et de la Catalogne[1]. Partout ces dépôts sont traversés par des roches de fusion, dont quelquefois les éléments ont pénétré dans leurs couches soulevées, comme le feldspath dans le gneiss de Brest, l'amphibole dans les schistes chloritiques de Cherbourg au contact des siénites. La plupart des collines granitiques de la basse Bretagne et du Bocage de Normandie, sont allongées dans cette direction, quoique probablement leur configuration ait été modifiée par les soulèvements subséquents.

Fig. 361.

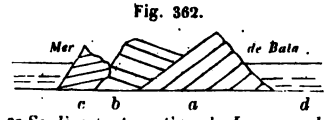


2e Soulèvement, système du Finistère.

Le système du Finistère se rapproche de ceux du Hainaut et des Alpes principales; mais outre que ces derniers, transportés à Brest, y feraient des angles très-différents, ils ont eu lieu à des époques de beaucoup postérieures, l'un après le grès houiller, l'autre après les derniers dépôts tertiaires.

§ 336. **Troisième soulèvement, système du Longmynd.** — Ce système, —·——·—, est caractérisé par la direction N. 23° E. que présentent encore les schistes cumbriens dans quelques parties de la Bretagne, comme entre Morlaix et Saint-Pol de Léon, sur la route de Ploërmel à Dinan, dans la contrée comprise entre Avranches, Vire, Domfront et Fougères, enfin autour des buttes granitiques qui traversent ces dépôts, et qui ont été sans doute de nouveau dérangées, soulevées dans cette circonstance.

Fig. 362.



3e Soulèvement, système du Longmynd.

Ce système a redressé les couches d'ardoises vertes du pays de Galles et du Westmoreland (fig. 362) qui ont dû se former

[1] Pour comparer les directions dans les contrées éloignées, il est nécessaire de calculer les angles qu'elles font avec les différents méridiens, et à des latitudes diverses. Ainsi, il faut savoir que l'angle de direction de 21° à Brest est d'environ 17° sur les frontières de Catalogne, qu'il est de 9° à Gotheborg, de 4° à Stockholm.

dans les mers précédentes, mais qui ont manqué en Bretagne, sans doute parce que cette contrée était alors au-dessus des eaux ; il est par conséquent antérieur au calcaire de Bala (§ 231).

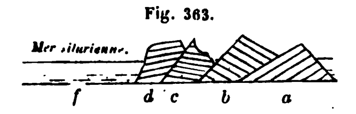
On retrouve cette même direction dans quelques filons granitiques du Limousin, parmi les accidents des couches schisteuses des montagnes des Maures et de l'Estrel, dans l'Erzgebirge saxon, dans les gneiss des montagnes de Moravie et des parties de la Bohême adjacentes à l'Autriche, en Suède au nord-est du lac Wenner, et en Finlande, d'un côté le long du golfe de Bothnie, dont elle fixe la position, de l'autre dans la contrée de Viborg [1].

Ce système se trouve (fig. 358) entre celui du Rhin et celui des Alpes occidentales ; mais ceux-ci sont beaucoup plus modernes, l'un ayant eu lieu après le grès vosgien, l'autre après la molasse.

§ 337. **Quatrième soulèvement, système du Morbihan.** direction O. 38° N., oo — oo, indiquée par la stratification des micaschistes et gneiss de la Loire-Inférieure, est à peu près celle de la côte sud-ouest de la Bretagne, ou plutôt des îles qui la terminent. C'est aussi la direction du plateau granitique, plus élevé que le centre de la contrée, qui s'étend le long de cette côte jusqu'au delà de Parthenay, et se prolonge peut-être sur une partie du Limousin, où elle est indiquée par les bords du plateau et par la stratification des dépôts situés entre Tulle et Nontron, de ceux des bords du Lot dans l'Aveyron et plus au sud des environs de Castres. Elle existe encore au nord-est de la Bretagne, dans le Bocage de Normandie, où elle se montre dans beaucoup de collines granitiques.

Ce système paraît d'ailleurs fort étendu ; on le soupçonne en Sicile dans les micaschistes et gneiss de Messine, dans l'Erzgebirge et le Bœhmerwaldgebirge, dans les steppes granitiques qui s'étendent de la Volhynie jusque vers le Don, dans le Labrador et le Canada. Ce mouvement du sol est partout évidemment antérieur au terrain silurien (fig. 363), qui nulle part n'en a été dérangé, même en Bretagne, dont il est si voisin ; s'il se rapproche du soulèvement du Thuringerwald, il en est par là fort distinct, puisque celui-ci n'a eu lieu qu'après le trias [2].

Fig. 363.



4e Soulèvement, système du Morbihan

[1] La direction N. 23° E., à Vannes, fait en Limousin un angle de 26°, dans l'Erzgebirge 33°, en Finlande, 42° à Uleaborg, et 50° à Viborg.

[2] La direction du Morbihan transportée à Freyberg, en Saxe, serait O. 55 N tandis que celle du Thuringerwald est O. 40° N.

§ 338. **Cinquième soulèvement, système du Hundsruck.** — La direction O. 31° S. ———, est la moyenne des directions de couches, des crêtes et des chaînes de montagnes qui appartiennent au terrain silurien, relevé dans un grand nombre de lieux par cette grande catastrophe (fig. 364). C'est ce qu'on voit en Bretagne, dans toutes les couches de ce terrain, qui couvrent la pointe du Finistère, des départements d'Ille-et-Vilaine, de la Mayenne, une partie de l'Orne et de la Manche (§ 233); ce qu'on remarque encore dans les terrains ardoisiers des Ardennes, de l'Eiffel et du Hundsruck, ainsi que du Taunus, qui en est le prolongement sur la droite du Rhin. On retrouve la même direction dans les Vosges, dans le Beaujolais, le Forez, dans certains gneiss du Limousin, à la montagne Noire (Aude), peut-être à la base des Pyrénées, dans les montagnes des Maures (Var), en Corse, etc.

Fig. 364.

Mer dévonienne.

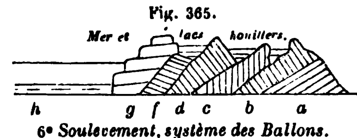
g f d c b a

5° Soulèvement, système du Hundsruck.

Ce système, qui appartient aussi à ce qu'on a nommé les terrains primitifs et de transition, se trouve dans le Harz, dans l'Erzgebirge, en Bohême, en Suède (île Gothland), en Finlande, en Laponie. Il est nettement établi en Angleterre dans le Cornouailles, le Westmoreland, les Grampians[1]. Il semble se rapprocher de celui de la Côte-dOr, mais celui-ci n'a eu lieu qu'après les dépôts jurassiques, et n'est que le onzième dans l'ordre chronologique.

§ 339. **Sixième soulèvement, système des Ballons.** — Ce sont maintenant les dépôts dévoniens qui sont eux-mêmes relevés, (fig. 365), et le terrain houiller s'est alors formé dans les mers qui battaient au pied des montagnes, ou dans les flaques d'eau qui couvraient çà et là la surface des terres. C'est là ce qui distingue éminemment le système des Ballons de celui des Pyrénées, fort rapproché par la direction. En effet, les Pyrénées n'ont pris leur relief actuel qu'après les terrains crétacés supérieurs, souvent relevés à une grande hauteur, et le terrain horizontal formé à leur pied n'est autre chose que le calcaire parisien, premier des dépôts tertiaires.

Fig. 365.



6° Soulèvement, système des Ballons.

[1] La direction de Hundsruck qui donne en moyenne un angle de 31° au Bingerloch, fait à Vannes un angle de 49°, en Cornouailles 40°, dans les Grampians 38°, à la montagne Noire 34° Cet angle est de 25° dans les Ardennes, 28° en Saxe, 22° en Gothland, comme en Corse et en Laponie, 17° en Finlande, etc.

Ce système, ..., dirigé O. 15° N. (O. 9° N. à Vannes) dans le sens de l'allongement de la Bretagne, tandis que le système du Hundsruck se dirige en travers, a eu sans doute quelque action sur les granites soulevés par le système du Morbihan, sur lequel a encore agi plus tard le système du Thuringerwald. On remarque sa direction dans les couches schisteuses anthracitifères des bords de la Loire et du canal de Brest, dans la Mayenne au sud-est de Laval. On la retrouve dans la partie méridionale des Vosges, dont l'élévation paraît avoir été produite alors par l'apparition des siénites qui ont soulevé les masses porphyriques de la contrée : les granites porphyriques des chaînes de la Lozère, de la Margeride, ceux de la Corrèze se trouvent dans cette direction, qu'on reconnaît aussi à la montagne Noire et dans la vallée de Campan aux Pyrénées, etc.

Hors de France, on retrouve ce système de direction en Angleterre depuis le Cornouailles jusqu'aux Grampians; en Belgique, dans les dépôts qui s'étendent d'Avesnes à Liége; au Harz, qui lui doit probablement sa forme dominante, déterminé par l'apparition des granites du Brocken et de la Rostrap. On en revoit les traces en Bohême, en Saxe, en Suède, en Russie, en Sibérie, dans les monts Altaï, dans l'Amérique septentrionale, par les Alleghanys; enfin, on peut les soupçonner dans l'Asie méridionale.

§ 340. **Septième soulèvement, système du nord de l'Angleterre.** — Cette nouvelle catastrophe diffère singulièrement des précédentes : d'un côté par sa direction N. 5° O., de l'autre par l'époque où elle s'est manifestée. Le grès houiller, en effet, s'est trouvé aussi bouleversé, redressé en divers lieux, et c'est le terrain pénéen (§ 247) que les mers ont formé sur leurs flancs (fig. 366). Ce système se rapproche beaucoup par sa direction de celui de Corse, mais à l'époque de ce dernier, d'autres terrains avaient été soulevés, et c'est le terrain tertiaire moyen qui s'est formé horizontalement sur les escarpements produits.

Fig. 366.



7° Soulèvement, système du Nord de l'Angleterre.

Le système du nord de l'Angleterre se fait remarquer par des lignes de faîte, ou par de grandes fractures, qui s'étendent de la latitude de Derby jusqu'aux frontières de l'Écosse, à travers l'Yorkshire, entre le Cumberland et le Northumberland, et dont il se trouve des traces dans les environs de Bristol, ainsi que dans la partie méridionale de l'Irlande; on le reconnaît de même en Scandinavie, tant en Norvége qu'en Suède, dans les crêtes des chaînes du sud. Cette direction, peu étendue en France, ne se reconnaît que dans des lignes

de fracture à la pointe de Bretagne, -.-.-.-, dans les dislocations des montagnes de Tarare, dans les dépôts houillers du Forez et les granites qui les encaissent, enfin dans ceux du Var.

§ 341. **Huitième soulèvement, système du Hainaut.** — L'accident arrivé à cette époque à notre planète s'est moins manifesté par des soulèvements que par une série de dislocations et de compressions (§ 170 à 172), qui s'étend du Mansfeld au Pembrokeshire, à travers les Pays-Bas, et presque de l'est à l'ouest. Il a replié et contourné, souvent de la manière la plus bizarre, toutes les couches existantes (fig. 367), atteignant à la fois le terrain houiller et les dépôts pénéens, et s'arrêtant au grès vosgien (§ 249), qui, en conséquence, s'est alors déposé après coup en couches horizontales, comme on le voit aux environs de Sarrebruck. Les plissements se présentent pour une moitié dans la direction O. 5° S., et pour l'autre suivant la ligne de dislocation antérieure.

Fig. 367.

Mer vosgienne.

k i h g f d c b a

8e Soulèvement, système du Hainaut.

Outre que ce système, ———, se fait remarquer entre Liége et Lille, on le retrouve dans l'alignement de certains îlots granitiques qui ont accidenté le terrain houiller de la Bretagne et qu'on voit se diriger des environs de Laval vers Quimper.

§ 342. **Neuvième soulèvement, système du Rhin** — Ce système, ———, qui est un des plus simples, se manifeste principalement par des falaises sur les deux rives du Rhin, entre Bâle et Mayence, avec divers autres escarpements parallèles, indiquant autant de failles qui ont tout divisé jusques et y compris le grès vosgien, dont ils ont placé les lambeaux à diverses hauteurs, sans en déranger la position horizontale (fig. 368). Il en est résulté dans les mers de cette époque des îles autour desquelles la série du trias (§ 250) s'est déposée à un niveau moins élevé.

Fig. 368.

k

Mer du trias.

l i h g f d c b a

9e Soulèvement, système du Rhin.

C'est dans la même direction que se trouvent aussi les porphyres du Morvan et ceux du Charolais, les petits dépôts houillers que nous avons fait remarquer sur le plateau central de la France, entre Decize et Mauriac (§ 245). Ces derniers sont rangés le long d'une série de monticules placés dans le même alignement et composés de granites porphyroïdes, qui on traversé le grès houiller et dont ils ont quelquefois enveloppé les lambeaux. L'apparition de quelques porphyres feldspathiques du Morvan, peut-être des porphyres quarzi-

fères du Beaujolais, qui ont dérangé le terrain houiller sans influer sur les dépôts subséquents, a donné également lieu à diverses fractures orientées de la même manière dans les montagnes comprises entre la Saône et la Loire.

Ce système de soulèvement se rapproche beaucoup par sa direction de celui des Alpes occidentales, et plus encore de celui du Longmynd, mais il y a de grandes différences dans les époques de formation; car le système des Alpes occidentales n'a eu lieu qu'après deux des dépôts tertiaires, et celui du Longmynd, au contraire, s'est manifesté avant les terrains siluriens.

§ 343. **Dixième soulèvement, système du Thuringerwald.**— Les montagnes auxquelles on a emprunté le nom de ce système, et dont le Bœmherwaldgebirge est là continuation, forment les limites naturelles entre la Bavière, le royaume de Saxe et la Bohême. Elles nous offrent, depuis Cassel jusqu'à Linz, la partie la plus élevée des accidents qui ont eu lieu à travers les dépôts du trias, et c'est sur leurs tranches relevées que se sont formés, fig. 369, les dépôts jurassiques (§ 255), en couches horizontales. En France, ce système, ∿∿∿, ne présente que de faibles saillies dont on voit quelques traces dans la partie sud-ouest des Vosges, où le grès bigarré se trouve considérablement élevé au-dessus de son niveau général, ce qui est dû probablement à l'apparition des buttes de serpentine qui se montrent dans cette partie. Plus loin, entre Avallon et Autun, quelques îlots de granite et de trias disloqué sont également allongés dans la direction N.-O., et entourés de calcaire jurassique qui n'a nullement participé au mouvement.

Fig. 369.

Mer jurassique. k

m l i h g f d c b a

10e Soulèvement, système du Thuringerwald.

On trouve le même phénomène dans les porphyres des environs d'Aubin, dans l'Aveyron, qui ont disloqué le grès houiller et le trias, sans atteindre les dépôts du Jura, et qui sont placés sur la ligne des buttes de serpentine qu'on remarque en Limousin, d'où on les suit à travers le Poitou jusque dans la Vendée. C'est sur cet alignement que se montrent entre Brives et Terrasson, des collines et des crêtes plus ou moins allongées dans le grès bigarré de cette contrée. Enfin ce soulèvement a probablemedt influé sur les dépôts granitiques du système du Morbihan sur la côte sud-ouest de Bretagne.

§ 344. **Onzième soulèvement, système de la Côte-d'Or.** — Ce système est, pour la direction, l'inverse du précédent; il s'écarte, de l'ouest au sud, précisément comme l'autre s'écarte de l'ouest au

nord ; par conséquent, si le rapprochement d'âge pouvait laisser le moindre doute sur la différence de système, les directions le lèveraient immédiatement. Les dépôts jurassiques que nous venons de voir se former horizontalement se trouvent maintenant redressés (fig. 370) et le terrain crétacé inférieur (§ 270) s'est ensuite formé en couches horizontales sous les eaux qui battaient leurs pentes ou leurs escarpements. Ce système, ━━━, est parfaitement distinct en France, où il se montre presque sans interruption depuis le pays de Luxembourg jusqu'à la Rochelle, et dans toutes les crêtes des monts Jura. C'est la direction de la chaîne de la Côte-d'Or et du Morvan, et si la dislocation a suivi dans le Beaujolais les anciennes fractures du système du Rhin, on la retrouve en Forez, dans la plaine du Pilas, dont les anciens dérangements remontent au moins à l'époque du Hundsruck, et au pied de laquelle tous les terrains houillers sont divisés par des failles qui ont toutes la direction S.-O. C'est ce système qui a soulevé, disloqué tout le bord oriental du plateau central de la France après la formation des dépôts jurassiques, qui y sont fortement relevés, tandis que sur les autres bords, il n'y a pas eu de dérangements. Cela signifie que ce plateau n'a subi dans la plus grande partie de son étendue, aucun changement depuis l'époque jurassique. Le soulèvement s'est également manifesté dans plusieurs parties de la France au nord et au midi dans plusieurs parties de l'Allemagne et notamment dans l'Erzgebirge, quoique dépourvu de calcaire jurassique, mais au pied duquel le terrain crétacé inférieur s'est déposé en couches horizontales. On le retrouve dans les falaises du Vicentin, au pied desquelles les dépôts crétacés inférieurs se sont également formés.

Fig. 370.

Mer crétacée inférieure.

n m i h g f d c b a

11° *Soulèvement, système de la Côte-d'Or.*

§ 345. **Douzième soulèvement, système du mont Viso.** — Les Alpes du Dauphiné présentent des indications très-prononcées d'un système de redressements et de fractures dirigées N.-N. O., ———, dans lequel les dépôts crétacés inférieurs sont eux-mêmes compris, aussi bien que les dépôts jurassiques (fig. 371). Les terrains crétacés supérieurs représentés par des couches à nummulites (§ 280), rarement par du calcaire gris et compacte, sont alors les seuls qui se trouvent en couches

Fig 371.

Mer crétacée supérieure

l k

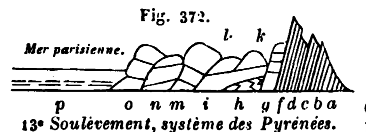
o n m i h g f d c b a

12° *Soulèvement, système du mont Viso.*

horizontales, comme on le voit pour l'un au col de Bayard, pour l'autre au col Maurin. Des séries nombreuses de crêtes redressées et des dislocations se trouvent au sud de Grenoble dans la direction de ce système; mais elles sont souvent masquées par des accidents subséquents. et surtout par le grand événement qui a donné à cette chaîne le relief que nous voyons aujourd'hui. On les suit au nord du Dauphiné dans les montagnes qui lient les Alpes au Jura jusqu'aux environs du Pont d'Ain et même jusqu'à Lons-le-Saulnier. C'est encore la direction que l'on trouve dans de nombreuses lignes de fractures et de crêtes redressées du terrain crétacé inférieur depuis l'île de Noirmoutiers dans la Vendée, jusqu'au royaume de Valence en Espagne, à travers les Pyrénées. Ce même mouvement du sol a déterminé la principale direction des côtes d'Italie, ainsi qu'un système de crêtes très-élevées en Grèce, dont le Pinde fait partie.

§ 346. **Treizième soulèvement, système des Pyrénées.** — Ce système, ▬▬, se rapproche de celui des Ballons (§ 339), dont il ne diffère que de trois degrés; mais ici tout le terrain crétacé supérieur lui-même (§ 276 à 280) se trouve relevé (fig. 372) même à des hauteurs considérables, formant de grands escarpements dans le haut de quelques vallées, surtout du côté de l'Espagne. Le dépôt qui s'est alors formé horizontalement dans les mers, appartient au calcaire parisien (§ 283), par lequel on commence ordinairement les terrains tertiaires. Or, ces dépôts offrent très-peu d'étendue à la surface de la France, nous pouvons même dire de l'Europe; d'où il résulte qu'à l'époque pyrénéenne, la plus grande partie de notre continent s'est trouvée tout à coup élevée au-dessus des eaux et amenée à l'état de terre ferme (§ 328).

Fig. 372.



13e *Soulèvement, système des Pyrénées.*

Non-seulement toute la chaîne des Pyrénées, tant en France que dans les Asturies, appartient à l'époque de soulèvement dont nous nous occupons, mais encore celle des Apennins, des Alpes Juliennes, les Karpathes, les Balkans et jusqu'aux montagnes de la Grèce. On retrouve la même direction dans les nombreuses dislocations et dénudations qu'on remarque en Allemagne, dans le nord de la France, comme dans le Boulonnais, le pays de Bray, et dans le Wealds de l'Angleterre (§ 271), d'où il résulte que cette catastrophe a été une des plus grandes et des plus étendues à la surface de l'Europe, nous pouvons même dire du monde entier.

§ 347. **Quatorzième soulèvement, système de Corse.** — Ici l'accident arrivé à notre planète n'est plus toujours marqué, comme dans les autres systèmes, par un relèvement des couches qui s'étaient formées sous les eaux après le soulèvement précédent, car le calcaire parisien, qu'on devrait alors trouver, a manqué complétement dans les lieux où la nouvelle catastrophe s'est manifestée. L'absence de ce dépôt signifie que le sol avait été élevé, sur toute l'Europe, au-dessus des mers; mais comme l'observation nous montre que dans ces lieux mêmes, il s'est fait depuis d'autres dépôts marins qui se rapportent aux terrains de molasse (§ 289), il en faut conclure que ce qui se trouvait élevé d'abord au-dessus des eaux marines s'est nécessairement affaissé au-dessous en un certain moment. C'est ce qui a dû arriver, en effet, à une partie du bassin de Paris, à la Touraine, à la plus grande partie de la Gascogne, à toute la Suisse, à la vallée du Rhône depuis Lyon jusqu'à la mer, aussi bien qu'à plusieurs parties de l'Italie, de la Corse et de la Sardaigne, qui, ne renfermant pas de calcaire parisien, doivent avoir été portées au-dessus des eaux par le soulèvement pyrénéen, et ont dû s'affaisser ensuite pour recevoir le dépôt de molasse qui s'y trouve. C'est là ce qui catactérise en général le système qui nous occupe.

Le système de Corse, ++++++, se manifeste néanmoins aussi par des soulèvements et des démembrements qui ont donné la dernière forme aux montagnes qui s'élèvent entre les vallées de la Saône, de la Loire et de l'Allier (§ 332), se dirigeant du nord au sud. Tous les dépôts secondaires sont dérangés dans ces contrées, et autour d'eux se sont formées des couches de molasse, qui comprennent les dépôts d'eau douce de l'Auvergne et de la Loire. C'est sur la direction de ce mouvement du sol que se sont placés plus tard tous les cônes volcaniques de la chaîne des Puys (§ 178).

On retrouve des traces du système de Corse dans les montagnes qui lient les Alpes au Jura, malgré les démembrements que la catastrophe suivante a pu opérer. Il existe aussi un grand nombre de chaînes sur la même direction dans la partie orientale et méridionale de l'Europe: en Toscane, dans les États de l'Église, dans l'Istrie, dans l'Albanie, dans la Grèce, etc. Les îles de Corse et de Sardaigne sont aussi allongées du nord au sud, et présentent également sur leurs côtes des dépôts tertiaires, en couches horizontales, qui sont du même âge que ceux qui se trouvent dans tous les lieux de la France que nous avons cités.

§ 348. **Quinzième soulèvement, système des Alpes occidentales.** — Si l'on aperçoit au milieu des Alpes de la Suisse, de la Savoie et du Dauphiné les traces des divers accidents qui ont eu lieu

depuis l'époque des soulèvements de la Côte-d'Or (§ 344), il n'est pas moins clair que le relief actuel date d'une époque bien plus récente. En effet, les couches du terrain de molasse, qui ne se sont formées sous les eaux qu'après le système précédent, se trouvent elles-mêmes maintenant relevées (fig. 373), et quelquefois à de grandes hauteurs, aussi bien que les dépôts jurassiques et les deux formations crétacées ; les seules couches horizontales sont celles des terrains subapennins, représentés en France par les dépôts lacustres de la Bresse, du bas Dauphiné et de la Provence (§ 294). Ainsi, ces montagnes qui renferment les plus hautes cimes de l'Europe n'ont paru, telles qu'elles sont à la surface du globe, qu'après le second des dépôts tertiaires. Les matières qui ont alors crevé la croûte terrestre sont les espèces de granites qui constituent le mont Blanc, le mont Rose, une multitude d'îlots qu'on rencontre de toutes parts, et autour desquels les terrains tertiaires, les terrains crétacés et les terrains jurassiques se trouvent tous relevés. Ces granites, qu'on avait nommés *protogyne*, à une époque peu avancée de la science, où ils avaient été regardés comme de la plus haute antiquité, se sont dès lors montrés à une époque postérieure même à la meulière coquillière des environs de Paris.

Fig. 373.

Eaux subapennines.

l k

r q p o n m i h g f d c b a

15° Soulèvement, système des Alpes occidentales.

Non-seulement le soulèvement des Alpes occidentales, ———, a déterminé les hautes chaînes de la Savoie et du Dauphiné, mais il s'est en outre étendu fort loin en Europe, au nord comme au midi : d'un côté, la Nouvelle-Zemble et la presqu'île scandinave en sont affectées ; de l'autre, il se présente dans une série d'accidents de dislocation qui se continuent depuis Narbonne jusqu'en Catalogne, en déterminant la position de toute la côte méditerranéenne de l'Espagne ; plus haut même, les montagnes de l'empire de Maroc sont dans la même direction et dans les mêmes circonstances, aussi bien que celles de la régence de Tunis, qui constituent une chaîne parallèle à l'autre extrémité de l'Atlas, dont toutes les chaînes transverses appartiennent d'ailleurs à la même époque.

§ 349. **Seizième soulèvement, système des Alpes principales.** — La nouvelle catastrophe, ———, dont nous allons parler est celle qui semble avoir déterminé la plus grande partie du relief actuel du continent européen. Les dépôts lacustres formés au pied des Alpes occidentales, après leur apparition, sont eux-mêmes disloqués, et il n'y a plus que le diluvium (§ 301) qui soit partout étendu au-

tour de ce double groupe en couches horizontales. Ce soulèvement se trouve en relation avec l'apparition des mélaphyres (§ 199 à 202) de diverses variétés, des siénites, des euphotides et des serpentines qui ont redressé les dépôts tertiaires du Piémont et de la Provence, en même temps que les roches granitoïdes qui constituent les sommets les plus élevés de la chaîne principale des Alpes, au pied desquelles on les trouve dans un grand nombre de lieux.

Toutes les montagnes, qui s'étendent du Valais et du Saint-Gothard jusqu'en Autriche, ont non-seulement surgi dans cette catastrophe, mais encore la plus grande partie du sol de l'Europe a participé au mouvement. En effet, la surface de ce continent s'élève souvent en pente douce vers les lignes de faîte de cette grande chaîne; c'est ainsi que les plaines de la Bavière s'élèvent lentement vers le sud un peu est, et celles de la Lombardie en sens inverse. Dans l intérieur de la France, on voit, dans le midi, les terrains tertiaires s'élever du sud vers le nord, des bords de la Méditerranée à Saint-Vallier, et au delà la pente est en sens contraire. Des bords de la Loire, le sol s'élève doucement d'un côté vers le nord-nord-ouest, et de l'autre vers le sud-sud-est jusque dans les vallées de l'Auvergne. Au pied des Pyrénées, les ophites, ainsi que les gypses et les masses salifères qui s'y rattachent (§ 199), forment une bande dont la direction est parallèle à la chaîne principale des Alpes., et rappellent la présence et les effets des serpentines de la vallée d'Aoste. A la montagne Noire la dernière forme, les derniers exhaussements qui ont déterminé une énorme falaise, ont été produits à cette époque, puisque les derniers dépôts tertiaires y ont participé. Enfin, la même direction se prolonge en Espagne, dans les lignes de faîte et les grands cours d'eau de cette contrée,

§ 350. **Dix-septième soulèvement, système du Ténare.** — Nous voici enfin à la plus récente des catastrophes qu'on ait pu jusqu'ici classer en Europe. Elle a eu lieu à une époque où nos mers étaient uniquement peuplées par les êtres qui y vivent encore aujourd'hui, et peut-être depuis que l'homme a paru sur la terre (§ 301). Après les dépôts de diluvium qui entourent les Alpes principales de couches horizontales, il s'est fait des dislocations sur le sol de la Toscane, parallèlement à un grand cercle dirigé à peu près nord-ouest. Les dépôts soulevés à ce moment ne renferment plus que des coquilles exactement semblables à celles de nos mers, comme les tufs ponceux des champs phlégréens, de la Somma, de l'île d'Ischia, etc. Mais il y a plus, les dépôts sédimentaires de la Sardaigne, où M. de la Marmora a signalé les débris d'une industrie naissante (§ 152 et 320), paraissent aussi avoir participé au mouve-

ment qui, dès lors, serait d'une époque extrêmement moderne, relativement à toutes celles dont nous avons jusqu'à présent parlé.

C'est au soulèvement du Ténare qu'on doit rapporter l'apparition de la Somma, du Stromboli, de l'Etna, qui tous auraient été démantelés s'ils avaient existé avant la catastrophe des Alpes principales, par laquelle tant de ravages ont été produits dans toutes les directions. Les volcans de l'Auvergne et du Vivarais, qui sont encore si frais, datent peut-être aussi du même moment, et leurs éjections auraient seulement suivi les anciennes fractures des soulèvements précédents (§ 347). Il n'en est pas de même des anciens dépôts basaltiques qui de ces contrées s'étendent dans tout le midi de la (France § 180 à 188); tout porte à croire qu'ils se sont formés antérieurement et qu'ils ont été démantelés, morcelés de toutes les manières par la seizième catastrophe.

Ce système de soulèvement dont on distingue des traces, dans la Provence, près de Nice, dans la Sardaigne et en Sicile, dans les champs phlégréens, est parallèle au système moderne que MM. Boblaye et Virlet ont signalé à la pointe méridionale de la Morée et qu'ils ont nommé système du Ténare, parce qu'il aboutit au cap de ce nom.

§ 351. **Extension des systèmes sur tout le globe.** — Puisque dans l'Europe, la seule partie du monde suffisamment connue, les divers chaînons de même direction, qui se trouvent sur la même ligne ou sur des lignes parallèles, appartiennent à la même époque de soulèvement (§ 327), il y a lieu de penser, rien n'indiquant de limites aux phénomènes qui leur ont donné naissance, que les mêmes effets se continuent bien au delà des contrées dont la structure géologique nous est familière. Il en résulte que partout où nous trouverons parallélisme dans les chaînes, nous serons naturellement conduits à admettre aussi contemporanéité de formation. Il est du moins intéressant d'examiner sous ce point de vue les chaînes principales que nous connaissons à la surface du globe, quoique les soulèvements jusqu'ici classés ne soient qu'en très-petit nombre, relativement à ceux que nous découvrirons probablement un jour, quand toute la terre nous sera géologiquement connue aussi bien que l'Europe. Pour faire connaître plus facilement cette extension des principaux systèmes, M. Élie de Beaumont a bien voulu tracer pour nous le résultat de ses recherches sur la mappemonde dressée par Brué, sur l'horizon de Paris, en y indiquant les différents soulèvements, par des lignes de diverses formes, dans toute l'étendue où ils peuvent être aujourd'hui soupçonnés.

On voit sur cette carte (fig. 374) que la *direction des Pyrénées* s'étend depuis les Alleghanys dans l'Amérique septentrionale jusqu'à la presqu'île de l'Inde, par les Karpathes, le Caucase, les montagnes de la Perse, depuis Érivan jusqu'au golfe Persique, et enfin par les Ghates, qui déterminent la position de la côte de Malabar. Au sud de cette ligne, se représentent également plusieurs rides parallèles; celles qui vont du cap Ortegal, dans les Asturies, au cap Creux de la Catalogne; la petite chaîne de Grenade, qui aboutit au cap de Gates; les montagnes qui bordent au nord le désert de Sahara, en coupant la direction de l'Atlas; enfin les Apennins, les Alpes Juliennes, les montagnes de la Croatie, de la Romélie, et jusqu'à celles de la Morée.

Le *système des Ballons*, si rapproché de celui des Pyrénées, se représente avec lui dans les Alleghanys, en Amérique septentrionale, où il paraît d'ailleurs s'étendre considérablement, ainsi que plusieurs des systèmes antérieurs.

La *direction des Alpes occidentales* se fait remarquer depuis l'empire du Maroc jusqu'à la Nouvelle-Zemble, en passant par la côte orientale d'Espagne, le midi de la France et une grande partie de la presqu'île scandinave. On retrouve des directions parallèles dans la Cordillère du Brésil, depuis le cap Roque jusqu'à Montévido. On voit encore des directions du même genre dans la régence de Tunis, dans la Sicile, dans la pointe de l'Italie et dans l'Asie Mineure. Tout le littoral de l'ancien continent, depuis le cap Nord de la Laponie jusqu'au cap Blanc d'Afrique, appartient au même alignement.

Les *Alpes principales* font partie d'un système de direction extrêmement étendu; depuis les chaînes de l'Atlas, à la partie septentrionale de l'Afrique, et celles de l'Espagne, on retrouve des chaînes parallèles qui se continuent jusqu'à la mer de la Chine. Telles sont, en sortant de la Sicile et de l'Italie, les chaînes de l'Olympe en Grèce, le Balkan, le Taurus, la chaîne centrale du Caucase couronnée par l'Elbourz, entre la mer Noire et la mer Caspienne, la longue série de montagnes qui s'étend à travers la Perse et le Kaboul, comprenant le Paropamisus, l'Hindoukhoh, etc.; enfin l'Himalaya, où se trouvent les plus hautes montagnes du monde.

On ne peut pas citer les autres systèmes sur de telles étendues, et néanmoins on reconnaît la direction du *système de Corse* dans les chaînes de la Syrie et de la Palestine; le *système du Viso* dans les chaînes du Pinde, le *système du Thuringerwald* dans les montagnes de l'Attique et de l'île de Négrepont; le *système de la Côte-d'Or*, peut-être celui du *Hundsruck*, dans les monts Altaï, etc.



Fig. 371. *Orientation des principales chaînes de montagnes.*

ÉTATS DE L'EUROPE AUX DIVERSES ÉPOQUES DE FORMATION.

§ 352. *Observations générales.* — Les détails précédents nous mènent à concevoir que la surface du globe, tant de fois bouleversée, a dû subir bien des changements successifs dans la configuration et l'étendue relatives des terres et des mers, pour arriver à l'état actuel. Mais pour l'Europe même, il est difficile d'indiquer cet état pour les époques les plus anciennes, par la raison que nous n'avons pas assez de détails sur les directions des couches pour déterminer partout celles des soulèvements, ni pour établir les limites exactes des terrains qui se sont formés à chacune de ces catastrophes. On ne sait pas non plus quelles sont les parties qui ont pu s'affaisser successivement; de sorte que ce n'est que par induction qu'on peut connaître l'ancienne étendue de ce qui reste. Ce n'est qu'après l'apparition des terrains jurassiques, dont les limites sont plus nettement tranchées, que nous pouvons établir avec moins d'équivoque les contours et l'étendue des terres préexistantes. Toutefois, avant cette époque, il existe des données qui peuvent conduire à des idées générales que nous allons essayer d'exposer.

Avant tout, observons que par l'expression *époque de tel terrain*, nous entendons l'espace de temps pendant lequel ce terrain se formait sous les eaux, autour des dépôts soulevés des époques précédentes. Ainsi l'expression *époque jurassique* indique le temps pendant lequel les terrains jurassiques se formaient dans les mers où se dessinaient les terres précédemment émergées. Nous dirons dans le même sens *mer jurassique*, *mer crétacée*, etc.

§ 353. **Époque silurienne.** — S'il est difficile d'établir nettement les limites des terrains formés à chacun des quatre premiers soulèvements, on peut se former une idée de ce que leur ensemble a produit, en recherchant les terres qui ont échappé aux dépôts siluriens, et qui, dès lors, étaient émergées, quoique probablement encore à une faible hauteur.

En France (fig. 375) il existait entre Brest et Saint-Malo, et entre Brest et Poitier, deux grandes îles granitiques, l'une suivant le système du Finistère, l'autre suivant le système du Morbihan, comprenant sans doute quelques indices du système de la Vendée, liées d'ailleurs entre elles par les dépôts cumbriens soulevés par le système du Longmynd. Il s'en voit d'autres en Angleterre, en Cornouailles, en Écosse, puis en Suède, appartenant au Finistère et au Longmynd, et dont les sommités apparaissent encore au milieu des dépôts qui les entourent. Le plateau granitique qui comprend le Limousin et l'Auvergne, où l'on voit quelques indices des systèmes

du Longmynd et du Morbihan, devait déjà se trouver au-dessus des eaux, et se liait peut-être à une grande terre qui s'étendait de



Fig. 375. *Mer silurienne.*
Configuration et étendue relatives des terres et des mers dans l'Europe occidentale pendant le dépôt silurien.

Toulon à Inspruck, en joignant peut-être au sud l'île de Corse; rien, en effet sur toute cette étendue, n'indique le terrain silurien. Il existait sans doute quelques terres dans les Pyrénées comme dans les Vosges et la forêt Noire, ainsi que dans le centre de l'Allemagne et dans la presqu'île scandinave.

Les mers de cette époque renfermaient, comme celles où se sont formés les calcaires de Bala (§ 231), des trilobites (§ 225), des spirifères, des productus, diverses sortes de térébratules (§ 232), des polypiers plus ou moins analogues à ceux des rescifs (§ 121), ce qui nous

montre que la température n'était pas distribuée comme aujourd'hui sur le globe (§ 25 à 28, 137 à 141). Les terres émergées semblent avoir été privées de végétation, car jusqu'ici on n'a trouvé aucun dépôt de combustibles dans les dépôts siluriens soulevés.

§ 354. **Époque dévonienne.** — Le système du Hundsruck dirigé O. 31°. S., en soulevant les dépôts siluriens, est venu augmenter l'étendue des îles précédentes, en créer de nouvelles, et surtout imprimer à leurs côtes sa propre direction. C'est ce qu'on voit pour les îles d'Angleterre sur la carte (fig. 376), pour les terres nouvellement émergées à l'ouest de Francfort, comprenant les Ardennes, l'Eiffel, et le Hundsruck-Taunus, comme aussi pour celles qui se sont formées au sud-ouest de Strasbourg, qui allait rejoindre peut-être l'ancien continent, enfin pour l'allongement du plateau central de la France jusqu'aux Pyrénées. Cette catastrophe a comblé l'espace compris entre les deux îles de Bretagne et joint Cherbourg à leur ensemble, tendant ainsi à réunir cette contrée d'une part avec l'Angleterre, de l'autre par Poitiers avec le Limousin. Elle a donné une grande extension aux terres scandinaves, sur plusieurs parties desquelles les dépôts siluriens n'ont pas été troublés depuis.

La végétation dut alors prendre une grande extension comme le montrent les dépôts d'anthracite renfermés dans les strates dévoniennes, et dont les plantes appartiennent déjà aux familles de l'époque suivante. Dans les mers il n'existait plus que quelques trilobites, mais il s'y trouvait des spirifères, des productus, des orthocères, divers céphalopodes analogues aux nautiles et aux argonautes; les encrines s'y multipliaient de manière à former presque à elles seules les marbres de Flandre et de Belgique. Il s'y trouvait de nouveaux polypiers, et surtout les poissons sauroïdes (§ 236), ainsi que les cestracions, les hybodons qui représentaient la famille des squales.

§ 355. **Époque houillère.** — Le système des Ballons en amenant au jour certaines parties des dépôts dévoniens, est venu encore une fois modifier les terres émergées et en créer de nouvelles, comme on le voit sur la carte (fig. 376) que M. Élie de Beaumont a bien voulu dresser pour nous. Cette nouvelle révolution a probablement réuni la Bretagne au plateau central de la France, et prolongé ce continent dans la même direction jusqu'à l'île de Corse. Elle a soulevé le terrain dévonien, que nous voyons aujourd'hui dans les Pyrénées et les Asturies, et a formé une île nouvelle entre Cologne et Dublin, en modifiant dans le même sens les terres soulevées entre Exeter et Bristol. Ce mouvement s'est étendu en Écosse, dans les îles Shetland et en Scandinavie, dont il a accru de nouveau la surface, ainsi que celle de la Russie jusqu'à la mer Blanche (§ 235).

C'est dans les mers de cette époque que se sont formés les dépôts houillers d'Angleterre et de Belgique. On en reconnaît les rivages au sud, entre Cologne et Liége, puis vers Arras et Boulogne, enfin vers Bristol et vers Corke C'est sur cette direction que se trouvent tous

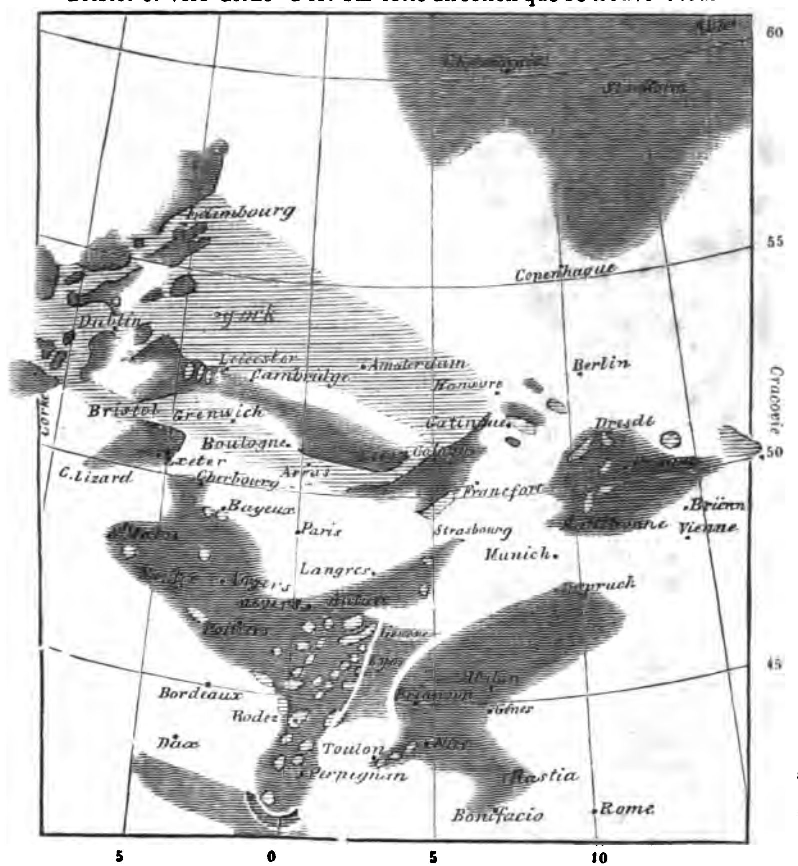


Fig. 376. *Mers et lacs de la période carbonifère.*

les dépôts houillers, depuis la Belgique jusqu'au centre de l'Irlande. Au nord de cette île se trouvent les dépôts carbonifères qui s'étendent de Derby à Liverpool, et se lient à ceux de l'Irlande, du nord

de l'Angleterre et de l'Écosse, en suivant la direction du Hundsruck. On ne sait pas jusqu'où la formation pouvait s'étendre, mais quelques dépôts charbonneux du Hanovre semblent indiquer qu'elle se prolongeait au moins jusqu'à cette latitude.

§ 356. Outre ces dépôts qui paraissent s'être formés dans une véritable mer, il s'en trouve d'autres qui sont éparpillés à la surface de la France, de l'Allemagne, et qui par leur isolement indiquent autant de petits amas d'eaux, où la matière charbonneuse s'est déposée comme aujourd'hui la tourbe dans nos marais (§ 124 à 127). On en voit déjà vers Leicester, Birmingham et Coventry en Angleterre, mais il s'en trouve beaucoup d'autres sur la terre qui va de Cherbourg au delà de Perpignan où l'on voit les dépôts houillers de Bayeux, de Quimper, de Laval, de Vouvant vers Poitiers, placés sans doute dans les anfractuosités du système des Ballons; puis ceux de la Bourgogne, du Limousin, du Forez, des Cévennes, etc., formant des lignes parallèles au système du Hundsruck, quoiqu'il y en ait de dérangées par le système du Rhin, enfin ceux de l'Alsace sur les terres précédemment émergées. Vers Toulon se trouvaient des marais où se sont formées les houilles que nous connaissons dans cette partie de la France. Il en existait de même sur les bords des terrains soulevés entre Cologne et Francfort, où se trouvent les dépôts houillers du pays de Trèves, puis plus loin ceux du Harz, etc. Enfin on en voit encore sur le groupe de terrain que renferme la Saxe, la Bohême, la Moravie, que des mers houillères séparaient alors de la Gallicie. Il est remarquable qu'il ne se trouve pas de houille sur les terres scandinaves, ce qui semblerait indiquer que cette contrée était alors stérile et privée de marécages.

§ 357. Quelques parties des terrains houillers sont restées à decouvert jusqu'à nos jours, ou même se sont soulevées de plus en plus par les catastrophes suivantes; mais d'autres parties se sont évidemment affaissées depuis, ont été recouvertes de dépôts plus modernes, à travers lesquels on va souvent chercher le combustible à de grandes profondeurs, comme dans les Vosges sous le grès rouge, dans l'Aveyron et la Corrèze sous le grès bigarré, dans les Cévennes sous le calcaire jurassique, à Anzin sous la craie, etc. Il est dès lors à présumer qu'il y en a un grand nombre d'enfouis profondément et à jamais perdus pour nous, soit sous les sédiments divers, soit même sous les eaux, comme à Whitehaven en Angleterre où l'exploitation s'étend à plus d'un quart de lieue du rivage et à plus de 100 mètres de profondeur au-dessous du fond de la mer.

La végétation de l'epoque houillère, favorisée peut-être par la forme insulaire (§ 27), a dû être très-considérable pour former par-

tout les immenses dépôts que nous connaissons. Elle se composait de lycopodiacées, de fougères, etc., toutes arborescentes, dont les analogues ne se trouvent que sous les tropiques, avec des conifères voisines des araucaria (§ 242) Ce sont leurs débris accumulés qui ont formé la masse du combustible, avec les cryptogames qui croissaient alors sous les eaux, comme aujourd'hui dans les marais bourbeux, et sous une température plus favorable encore à leur développement.

Les eaux dans lesquelles se formait la houille paraissent avoir renfermé peu de mollusques conchifères, car on n'en trouve même pas dans les houilles marines, si ce n'est quelques anodontes ou mulettes qui annoncent des affluents d'eau douce; les poissons étaient assez nombreux dans les marais et ils appartenaient tous aux genres *paleoniscus* et *amblypterus*, vivant sans doute d .ns les ruisseaux qui serpentaient au fond des fractures abruptes des terrains anciens.

§ 358. **Époque pénéenne.** — Ce que la catastrophe du nord de l'Angleterre (§ 340) présente de plus remarquable, est le soulèvement de la partie la plus occidentale de l'Europe, dans tout ce qui se trouvait situé vers le sud, qui a dès lors presque complétement échappé à la formation pénéenne (§ 328), la plus grande partie de la mer carbonifère (fig. 376) a dû être soulevée; la plupart des îles de l'Angleterre ont dû dès lors se réunir entre elles et avec toutes celles situées précédemment à l'est et au sud en une immense terre ferme, sur laquelle il n'y a pas de traces des dépôts formés à cette époque. On n'en voit en effet en Angleterre que dans le comté d'York (fig. 376), entre Nottingham et Sunderland, à l'est du terrain houiller qui depuis cette époque a toujours été découvert, et où tout le dépôt pénéen est représenté par le *magnesian limestone*. En France nous n'en n'avons que dans les Vosges, où la presqu'île formée vers Strasbourg à l'époque précédente a dû maintenant s'affaisser, entre Montbéliard et Saint-Dié, pour recevoir le grès rouge qui recouvre les marais houillers. De là la mer pénéenne s'est étendue principalement au nord des terrains anciens qui marquaient le centre de l'Allemagne à l'époque houillère, et elle a formé dans la Thuringe et le Mansfeld la série complète des dépôts pénéens que nous avons fait connaître (§ 247, 248). On retrouve la même mer dans toute la partie orientale de la Russie, où ses sédiments ont recouvert une grande étendue de terrain.

La végétation avait peut-être peu changé à cette époque, mais elle n'a fourni au terrain pénéen que quelques algues enfouies dans les matières schi·teuses, et quelques troncs silicifiés de conifères dans les grès. La terre était alors habitée pour la première fois par des reptiles sauriens voisins des *monitors*, dont les débris se trouvent aussi dans les schistes, en même temps que ceux de quelques pois-

sons du genre paléoniscus, que d'ailleurs on ne retrouve plus aux époques suivantes. Les mers renfermaient alors quelques espèces particulières de productus et de spirifères (§ 247).

§ 359. **Époque vosgienne.** – Le système du Hainaut paraît avoir encore augmenté l'étendue des terres émergées de l'époque précédente. Car la Thuringe et le Mansfeld, aussi bien que la Russie orientale précédemment sous les eaux où se formaient les dépôts pénéens, ne présentent aucune trace de grès vosgien et par conséquent furent alors à sec (§ 328.) Par opposition plusieurs points découverts dans la Bavière rhénane et le duché de Bade ont dû être maintenant submergés pour recevoir la formation vosgienne qui se montre aujourd'hui sur les deux rives du Rhin. La partie submergée entre Montbéliard et Saint-Dié qui recevait le grès rouge à l'époque pénéenne, s'est de nouveau relevée pour échapper à celui-ci.

Ainsi le dépôt vosgien semble s'être fait dans un lac au milieu du continent, et peut-être en Angleterre entre deux grandes îles que présentait cette contrée, où se sont formés plus tard les dépôts triassiques. Cette formation paraît avoir duré peu de temps, ou du moins avoir été très-tumultueuse, car il ne s'y est trouvé jusqu'ici aucun reste d'animaux, et les débris de plantes y sont même peu nombreux (§ 249).

§ 360. **Époque triassique.** — L'événement du système du Rhin (§ 342) est venu de nouveau disloquer et découper le continent, qui paraît avoir existé aux deux époques précédentes. Une grande île s'étendait alors obliquement à travers la France (fig. 377), de l'Angleterre occidentale jusqu'en Autriche, comprenant la Bretagne, le Limousin, le Forez, étendant une presqu'île jusqu'aux Pyrénées et une autre en Bourgogne. Une autre île renfermait la Belgique, le grand-duché du Rhin s'étendant dans les Vosges en presqu'île parallèle aux montagnes anciennes de la forêt Noire.



Fig. 377. *Mer triassique.*

Configuration et étendue relatives des terres et des mers en France pendant le dépôt des terrains triassiques.

§ 361. La végétation a subi à cette époque de grandes modifications; les fougères et les équisétacées de haute taille avaient considérablement diminué, et les conifères au contraire étaient devenues plus nombreuses : des plantes analogues aux zamia et peut-être aux cycas (fig. 378 et 379) formaient alors une partie importante de la flore de l'Europe, préludant au développement immense qu'elles prirent à l'époque suivante.

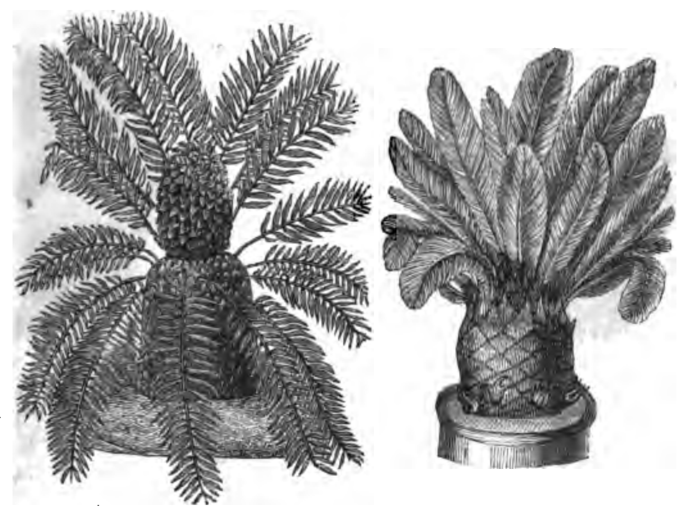


Fig. 378. *Zamia pungens.* Fig. 379. *Cycas revoluta.*

§ 362. Il se présente encore ici de nouveaux sauriens, et pour la première fois on reconnaît quelques traces d'oiseaux sur les dalles du grès bigarré (§ 161, 213). C'était alors qu'existaient ces êtres dont nous trouvons aussi les pas sur les mêmes dépôts, que M. Owen a reconnus d'après les ossements fossiles, pour d'énormes batraciens dont il a imaginé la restauration suivante (fig. 380).

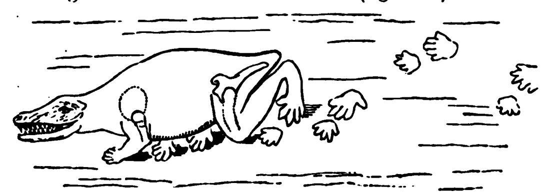


Fig. 380. *Labyrinthodon pachignatus* (Owen).

§ 363. **Époque jurassique.** — Lors du soulèvement du Thuringerwald (§ 347), le terrain triassique qui venait de se former dans les mers s'est trouvé soulevé dans divers points. Il s'est alors accolé quelques lambeaux de grès bigarré autour des côtes précédentes, comme en Angleterre, d'Exeter à Liverpool, et sur la côte orientale, en France, de Cherbourg à Bayeux, de Moulins à la Châtre, autour de Brives, aux environs de Rodez, de Saint-Affrique et de Lodève, enfin autour des terrains dévoniens qui préludaient aux Pyrénées actuelles. L'Ile du Var s'est accrue non-seulement de ces grès, mais encore du calcaire conchylien; les Vosges et la forêt Noire furent considérablement augmentées par les deux dépôts tant à l'ouest dans la Lorraine, qu'à l'est, d'où le terrain triassique se prolonge en Allemagne, en liant divers îlots précédemment séparés. Mais en même temps que de nouvelles terres étaient mises à nu, il se faisait de grands affaissements dans celles qui existaient auparavant; la grande terre qui s'étendait à travers la France fut coupée vers Poitiers, en formant un détroit où se montrent aujourd'hui les dépôts jurassiques. Ce qui s'en étendait depuis les premiers temps de Lyon jusqu'à Inspruck (§ 253) s'est même complétement enfoncé pour recevoir la nouvelle formation qui l'a recouverte. La Corse et une île vers Toulon, sont les seules qui soient restées pour marquer l'ancienne direction.

Les dépôts jurassiques formés à la suite de ce bouleversement étant extrêmement étendus à la surface actuelle de l'Europe, leurs limites inférieures, partout très-distinctes, nous indiquent clairement celles des mers dans lesquelles ils se formaient. C'est en les étudiant avec soin que M. de Beaumont est parvenu à tracer pour nous la carte (fig. 381), beaucoup plus arrêtée que les précédentes.

On remarque immédiatement sur cette carte la rupture que nous avons indiquée vers Poitiers, les morcellements et les découpures qui limitent le plateau central et son prolongement, la disparition complète du terrain compris entre Lyon, Nice et Inspruck. On voit enfin comment l'île qui renfermait la Saxe et la Bohême se trouve liée aujourd'hui, par les dépôts pénéens et triassiques, avec celle qui s'étendait entre Francfort et Arras. Un rivage nettement limité s'étendait alors de Dunkerque à Trèves, et tournant les deux presqu'îles des Vosges et de la forêt Noire, gagnait Ratisbonne, Vienne et Cracovie, où un détroit conduisait au nord; un autre rivage allait de la hauteur de Poitiers, par Angers, Cherbourg et Liverpool, jusqu'au delà d'Édimbourg. Les montagnes des Maures et de l'Esterel offraient un îlot entre Toulon et Nice, et la Corse en faisait un autre. Les terres scandinaves seules n'avaient subi aucun changement.



Fig. 381. *Mer jurassique.*
Configuration et étendue relatives des terres et des mers dans l'Europe occidentale pendant le dépôt du terrain jurassique.

§ 364. *Animaux de l'époque jurassique.* — Les mers de cette nouvelle époque présentaient des caractères très-différents de ceux que nous avons vus jusqu'ici dans les mers antérieures ; elles étaient

maintenant habitées par les sauriens, éminemment nageurs, nommés ichthyosaures et plésiosaures (§ 258), dont les pattes, en forme de rames, rappellent nos chéloniens marins actuels; ces animaux tout aquatiques, remplaçaient alors par leur voracité les poissons sauroïdes de la mer dévonienne, qui avaient depuis longtemps disparu. Ce fut alors aussi que vécurent sur la terre les ptérodactyles, genre de sauriens volants qui peuplaient les airs, et qui complétaient la série des êtres si remarquables de la création jurassique, que les catastrophes subséquentes ont entièrement anéantie. M. Buckland partant du squelette de ces animaux, a essayé de peindre leur conformation extérieure dans les figures suivantes :

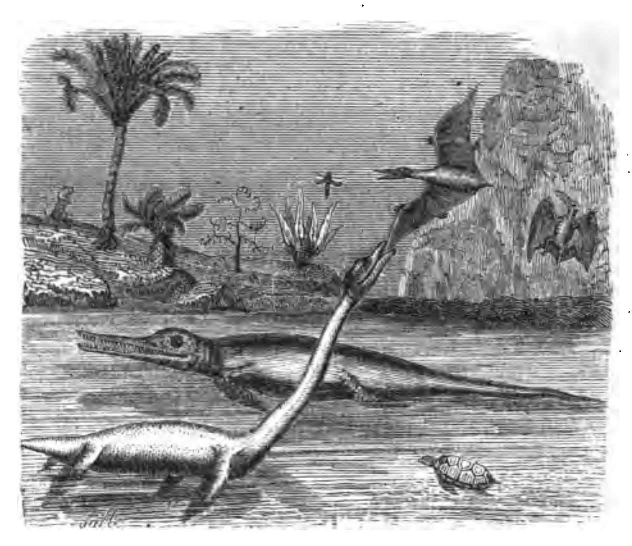


Fig. 382. *Restauration des sauriens de l'epoque jurassique*

Ces mers avaient perdu les productus des époques précédentes et les spirifères même avaient presque entièrement disparu. Mais il y avait alors de nombreuses térébratules qui appartenaient à des espèces différentes de celles que renfermaient les mers précédentes, et qui disparaissent elles-mêmes dans les suivantes. Il s'y trouvait aussi un très-grand nombre de mollusque céphalopodes à coquilles cloisonnées, que nous nommons en général *ammonites*, dont la race encore peu développée avait commencé à paraître dans les mers où se

formait le calcaire conchylien. C'est alors que parurent pour la première fois les espèces de calmars (fig. 383) qui renfermaient les corps nommés *bélemnites*, dont les débris jusqu'alors inconnus sont si nombreux, depuis le lias jusqu'à la fin de la craie. Enfin il s'y montra de nouveaux mollusques à coquilles bivalves; et d'abord la gryphée arquée qui pullula pendant un moment pour disparaître ensuite lorsque le lias fut formé, et faire place à de nouvelles espèces du même genre (§ 257 à 267).

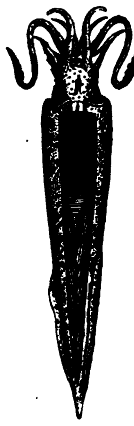


Fig. 383. *Calmar à bélemnites.*

Il se formait aussi dans ces mers, comme aujourd'hui dans les nôtres, des rescifs madréporiques, dont le groupe corallien (§ 266), nous offre maintenant les débris, et qui annoncent dans nos contrées une température moyenne analogue alors à celle des mers intertropicales.

Sur les terres, des lacs d'eau douce nourrissaient sans doute des paludines, et des cours d'eau entraînaient des hélices dont le groupe portlandien (§ 185) nous offre aujourd'hui les dépouilles.

Il devait exister aussi sur le sol plusieurs espèces d'insectes qui servaient de nourriture aux ptérodactyles et dont les débris annoncent des coléoptères et des névroptères, voisins des buprestes et des libellules. Il s'y trouvait aussi de petits mammifères marsupiaux dont les couches de Stonesfield nous offrent le squelette (§ 264). Mais ces êtres semblent avoir été en petit nombre, si l'on s'en rapporte au peu de débris qu'on a encore rencontrés; et il ne se trouvait avec eux aucun des grands animaux qui caractérisent l'époque parisienne.

§ 365. *Végétation de l'époque.* — La flore n'était plus celle qui a fourni tant de débris au terrain houiller; les lycopodiacées, les fougères gigantesques avaient disparu, et il semble que beaucoup d'espèces nouvelles avaient été créées depuis les époques pénéennes et triasiques C'étaient alors les cycadées et les conifères (§ 264, 265) qui l'emportaient de beaucoup sur toutes les autres familles. Probablement il se trouvait déjà quelques palmiers dont on rencontre les fruits dans le lias; aussi les combustibles charbonneux qui se sont formés à cette époque, sont-ils fort différents de ceux que nous trouvons dans la grande formation houillère. Ces matières sont en même temps beaucoup moins abondantes, ce qui annonce une grande différence entre l'étendue des terres d'alors et celle des continents qui devaient exister pendant la période carbonifère.

§ 366. **Époque crétacée.** — Après le système de soulèvement de la Côte-d'Or (§ 344) qui a relevé une partie des dépôts jurassiques au-dessus des mers, la forme et la disposition des terres au milieu des eaux ont encore considérablement changé. Leurs contours sont indiqués aujourd'hui à la surface du globe par les limites inférieures des dépôts crétacés émergés, et en les cherchant M. de Beaumont en a dressé la carte suivante (fig. 384).

Les trois îles méridionales de l'époque précédente se sont maintenant réunies, mais non sans quelques modifications dans leurs contours. Les restes de la Belgique et les parties voisines de la France ont été submergés, et Bruxelles, qui était précédemment au milieu des terres, se trouve maintenant sur la côte. Arras et Dunkerque sont au milieu même des mers. Un détroit s'est fait entre Perpignan et Bayonne, offrant quelques îles à son entrée. Enfin un affaissement s'est fait au milieu des anciens terrains de l'Allemagne et a déterminé un lac entre Dresde, Prague et Brunn.

Par compensation, les Vosges, battues par la mer aux siècles précédents, furent enclavées dans le continent qui joignit l'Eifel au plateau central de la France. L'espace de mer qui séparait ces contrées fut comblé, et Langres, Nevers, Lyon, se trouvèrent en terre ferme; un isthme se forma vers Poitiers pour lier aussi la grande île qui se trouvait à l'ouest. Un rivage s'étendit alors des environs de Cracovie jusque vers Perpignan par Ratisbonne, dont la position ne fut pas changée, Zurich et Lyon. Un immense golfe se forma entre Bruxelles et Oxford, s'enfonçant jusqu'à Poitiers.

Il s'est maintenant reformé, entre Salzbourg et Avignon, une nouvelle île qui marque encore une fois l'emplacement futur des Alpes, et sur laquelle Briançon, Turin, Trente, Inspruck, etc., pouvaient de nouveau retrouver leurs places; la Suisse était alors un canal qui séparait cette île de la terre ferme. L'île de Toulon s'est maintenue, ainsi que la Corse, et quelques petites îles jurassiques marquent les environs de Marseille.

§ 367. Peu de choses cependant avait changé dans les êtres organisés; en même temps qu'il se trouvait diverses espèces de fougères, végétaient sur le sol les cycadées, et surtout les conifères, qui, devenant de plus en plus abondantes, donnaient lieu aux amas de lignites qu'on trouve dans les terrains crétacés (§ 282). Il y avait peu de mammifères terrestres, car on n'en observe aucun débris dans les terrains de craie, quoiqu'on en ait déjà rencontré dans les dépôts jurassiques; mais il existait divers cétacés, lamentins et dauphins, dont quelques-uns ont apparu déjà dans les mers précédentes. Les reptiles divers étaient encore, parmi les animaux en état

de vivre sur la terre, les êtres les plus élevés de la création ; leurs espècesétaient nombreuses ; parmi elles se distinguaient l'iguanodon, saurien gigantesque de 80 mètres de long, le mégalosaure et divers crocodiles. Les tortues fluviatiles, les poissons et les mollusques

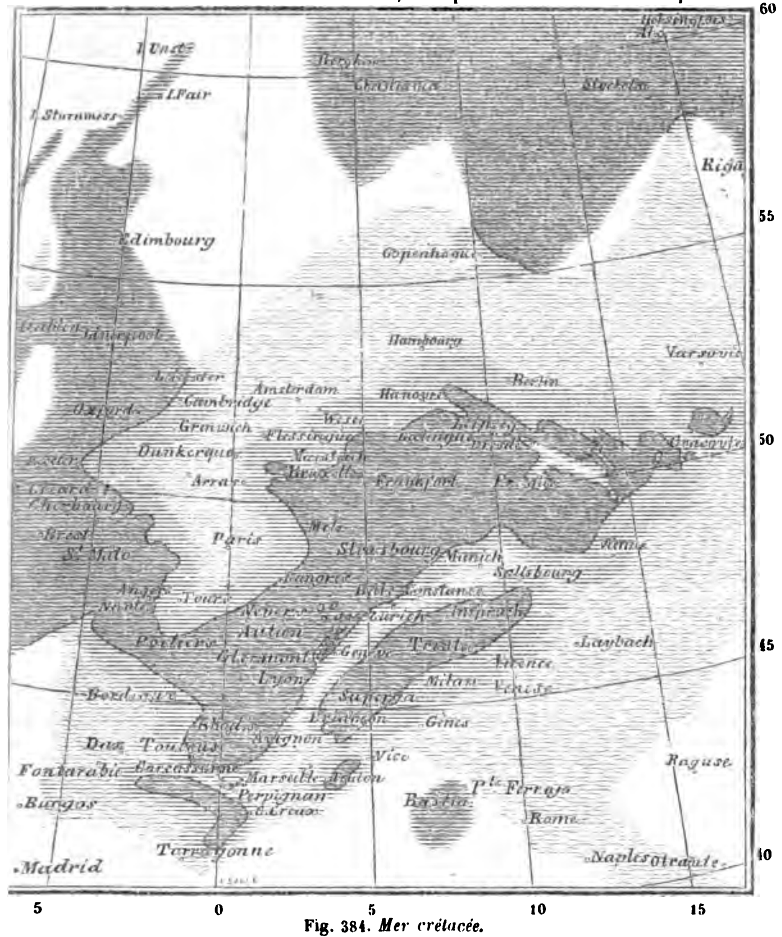


Fig. 384. *Mer crétacée.*

Configuration et étendue relatives des terres et des mers dans l'Europe occidentale pendant le dépôt du terrain crétacé inférieur.

d'eau douce vivaient sur les bords des lacs ou dans leurs eaux. Les mers nourrissaient des baculites et des turrilites (fig. 302, 303), dont rien n'indique l'existence antérieure, et qui, vers la fin de l'époque disparaissaient totalement, en même temps que tous les céphalopodes à coquilles cloisonnées persillées. C'est alors que se montraient les vrais squales, qui ont continué jusqu'à nos jours, quoique leurs dimensions aient considérablement diminué.

§ 368. **Époque du terrain parisien.** — Le soulèvement du mont Viso, en relevant les premiers dépôts crétacés autour des terres découvertes, comblant en grande partie le canal de Perpignan et le golfe de Marseille, n'amena qu'un léger changement dans le contour des mers, où la sédimentation se continua par les dépôts crétacés supérieurs. Il n'en fut pas de même du soulèvement des Pyrénées, qui a produit une des plus grandes convulsions que l'Europe ait éprouvées; tout en a été ébranlé, et la plus grande partie de ce qui était alors sous les eaux s'est trouvé poussé au dehors pour former un immense continent (§ 346). C'est ce que prouve le peu d'extension des sédiments parisiens, qui, se trouvant concentrés dans deux bassins peu étendus, l'un entre Paris, le cap Lizard, Cambridge et Maestricht, l'autre entre Bordeaux et Dax, nous montrent que les mers pénétraient peu dans les terres d'alors. Au milieu du golfe du Nord se trouvaient deux îles crétacées, les Wealds de l'Angleterre et le pays de Bray de la France. On voit ces détails dans la carte (fig. 385), publiée il y a quelques années par M. Élie de Beaumont, dont nous avons supprimé la mer du Vicentin parce que les dépôts, qu'on avait alors rapportés au calcaire parisien, à cause des cérites et des nummulites, appartiennent en réalité à la craie supérieure.

§ 369. La faune de l'époque parisienne était très-différente de celle qui avait existé précédemment. Les sauriens gigantesques avaient disparu; mais il restait de grands crocodiles, des chéloniens marins et terrestres, et la terre enfin était peuplée de mammifères (§ 286). Ceux-ci étaient alors des pachydermes analogues aux tapirs, comme les anoplotheriums et paleotheriums, qui devaient avoir à peu près les formes (fig. 383), et qui vivaient en même temps que quelques carnassiers du genre chien, etc. Dans les mers les bélemnites et toutes les coquilles cloisonnées persillées avaient disparu; les nautiles seuls étaient restés, et ils vivaient alors avec le cerithium giganteum qui avait commencé à la fin de l'époque crétacée (§ 280), pour disparaître au milieu de l'époque suivante. Il y existait aussi beaucoup de mollusques plus ou moins rapprochés de ceux qui vivent dans les mers actuelles (§ 284).

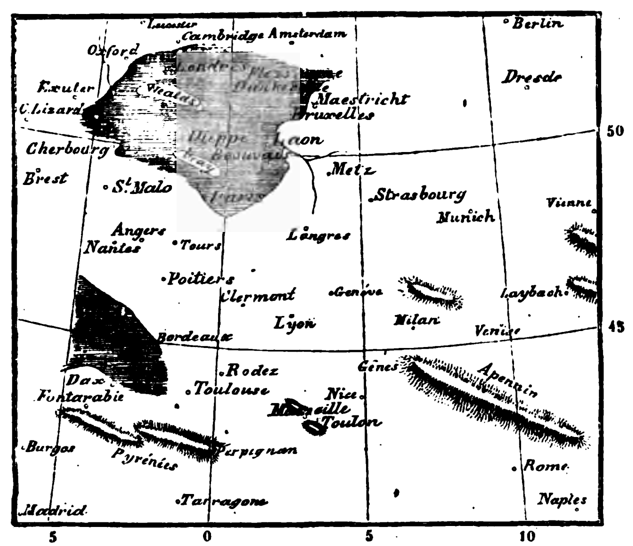


Fig. 385. *Mer parisienne dans l'Europe occidentale.*



a b d

Fig. 386. *Faune de l'époque du terrain parisien.*

a. Paleotherium magnum. *c*. Anoplotherium commune.
b. Paleotherium minus. *d*. Crocodile.

A cet âge de notre planète, la flore de l'Europe s'était encore modifiée; les cycadées avaient disparu, et les conifères, présentant encore de nouvelles espèces, auxquelles s'étaient jointes des dicotylédones, se trouvaient avec des palmiers jusqu'au centre de l'Europe. Ces derniers, repoussés aujourd'hui jusqu'en Afrique, annoncent évidemment une température moyenne plus élevée que celle dont nous jouissons, et qui a dû être alors d'environ 22°, comme maintenant dans la basse Égypte.

Des cours d'eau existaient nécessairement sur le continent, et c'est par là qu'on peut expliquer les dépôts de lignites, les débris de mollusques d'eau douce, qu'on trouve par place au milieu des dépôts marins. On est conduit surtout à supposer un de ces cours d'eau débouchant vers Laon et amenant les dépôts lacustres du Soissonnais, et un autre quelque part, entre Exeter et Oxford, qui formait au sud-ouest des Wealds les dépôts de l'île de Wight. Autour de Paris, les eaux du golfe étaient adoucies sur les bords par de nombreuses sources thermales qui donnaient naissance au calcaire siliceux, au milieu duquel se formaient la meulière sans coquilles et le gypse (§ 285).

§ 370. **Époque de la molasse.** — C'est après le soulèvement de Corse (§ 347) que la molasse s'est déposée au sein des eaux ; ce qui s'est fait non-seulement dans tout ou partie des mers précédentes, mais encore dans des lieux mêmes où les dépôts parisiens avaient manqué, et où par conséquent les terres étaient alors à découvert (§ 328). Il en résulte qu'il a dû se faire, çà et là, divers affaissements et par suite des mers ou des lacs, où les nouveaux dépôts sédimentaires se sont formés. Les limites inférieures de cette formation maintenant émergée, montrent en effet que la Touraine dut alors s'affaisser et que la mer s'étendit vers Poitiers (fig. 387), où il y avait communication



Fig. 387. *France à l'époque de la molasse.*

par un détroit, ou plutôt des terres à demi submergées, avec la mer de Guyenne et de Gascogne. Celle-ci communiquait par un autre détroit au pied des Pyrénées avec un lac qui allait de Marseille vers Langres résultant encore d'un affaissement des terrains précédemment émergés. Toute la Suisse s'est également affaissée, aussi bien que la contrée du Rhin et celle du Piémont, offrant dès lors des canaux qui communiquaient avec les mers d'Italie, de Hongrie, d'Allemagne, etc. Un vaste lac existait aussi en Auvergne, de Moulins à Brioude et Montbrison. Par opposition, il s'est fait aussi çà et là quelques soulèvements dans les mers de l'époque parisienne, sur toute la côte d'Angleterre, dans l'Ile de France, en Picardie et en Belgique, où le terrain échappa à la formation de molasse. Les emplacements de Londres et de Paris furent alors mis à sec, et il en fut de même de Bordeaux, où toute la partie nord de l'ancien golfe fut soulevée au moment où les terres du sud s'enfonçaient.

§ 371. La catastrophe dont nous venons de voir l'action à la surface du sol fut accompagnée d'un nouveau changement dans la série des êtres organisés. Dès ce moment les mers ne renfermaient plus ni le cerithium giganteum, ni un grand nombre d'autres espèces de mollusques qui se trouvaient dans les mers de l'epoque précédente; tandis qu'au contraire il y en avait d'autres qui étaient beaucoup plus analogues à celles de nos mers actuelles. Les terres ont alors offert de nouvelles espèces de paleotherium; mais, ce qui est plus important, elles présentèrent alors, pour la première fois, divers autres genres de mammifères, tels que les mastodontes (§ 203), et le dinotherium giganteum, qui devait avoir à peu près la forme (fig. 388), ainsi que les rhinocéros, les hippopotames, les singes,



Fig. 388. *Restauration du dinotherium giganteum.*

et plusieurs rongeurs, comme castors, écureuils, etc., dont on n'avait pas encore trouvé de traces. La flore était composée principalement de conifères, avec des dicotylédones, qui cependant n'avaient sans

doute pas encore le développement qu'elles prirent à l'époque suivante. Il existait encore des palmiers, dont on trouve les débris dans les dépôts de lignites, particulièrement dans ceux de Liblar près de Cologne, ainsi que dans les plâtrières d'Aix, en Provence.

§ 372. **Époque subapennine.** — Lors du soulèvement des Alpes occidentales (§ 348), le sol compris entre Constance et Marseille, a pris tout à coup une hauteur considérable, et une grande partie du relief qu'il présente aujourd'hui. Tout ce qui se rapportait à la molasse fut alors mis à découvert sur le continent européen, et les limites des mers furent encore une fois déplacées (fig. 389). Sur le sol de la France les lacs de l'Auvergne disparurent ainsi que le canal de la Suisse ; la communication de la mer avec le Languedoc et le Dauphiné s'effaça et il ne resta qu'un lac étendu de Langres jusqu'à Valence. Un autre lac beaucoup plus petit se forma en Provence, de Sisteron au Verdon qui se jette dans la Durance. Il resta le canal d'Alsace, qui correspondait à l'Océan, et celui du Piémont, allant rejoindre les mers qui baignaient alors les Apennins.

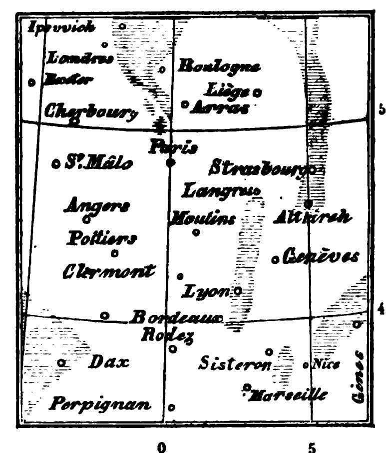


Fig. 389. *France à l'époque subapennine.*

La flore, d'après les débris jusqu'ici observés, paraît n'avoir été alors formée en France que de conifères et de dicotylédones, et les mers ne renfermaient guères alors que des animaux de l'époque actuelle.

Ce fut peut-être à cette date de la création qu'apparurent les grands carnassiers des genres ursus, hyena, felis et canis qui habitaient les cavernes[1], et avec lesquels se trouvaient des éléphants, des ruminants, des chevaux, des rongeurs, etc., dont ils faisaient leur proie. Peut-être y avait-il aussi divers grands édentés, dont on a trouvé les traces dans les cavernes du Brésil, quoiqu'on soit porté à les regarder comme appartenant plutôt à l'époque du diluvium.

---

[1] Divers géologues regardent les cavernes à ossements comme ayant été remplie par des eaux qui y ont entraîné les débris animaux.

§ 373. **Époque du diluvium.** — La grande catastrophe des Alpes principales (§ 349), en formant toutes les chaînes qui s'étendaient du Valais en Autriche, a exhaussé également tout le sol de l'Europe, et déterminé la plus grande partie de son relief actuel. C'est de cette époque que date la séparation de la France et de l'Angleterre par une rupture opérée entre Brest et le cap Lizard, le partage des eaux entre l'Océan et la Méditerranée, et la dernière configuration de celle-ci par l'affaissement des terrains qui s'étendaient au sud de Marseille depuis l'époque parisienne. En général, c'est probablement alors que les mers furent limitées, à peu de chose près, comme nous les voyons aujourd'hui (fig. 390), à l'exception de quelques lambeaux d'alluvions anciennes qui ont été mises ensuite à découvert par le soulèvement du Ténare, et peut-être par les tremblements de terre de notre époque, ou les soulèvements progressifs.



Fig. 390. *Europe occidentale dans l'état actuel.*

Les effets produits par cette grande catastrophe, nous montrent qu'en Europe, d'énormes courants d'eau ont dû s'établir alors dans toutes les directions, et sillonner tous les dépôts qui se trouvaient émergés. Mais la masse des eaux fournies par les lacs de l'époque précédente, dont les digues ont sans doute été rompues dans le bouleversement, n'est pas en rapport avec l'étendue des résultats accomplis, et il faut que la quantité en ait été prodigieusement accrue par quelques circonstances inconnues jusqu'ici, qu'on peut attribuer peut-être à la fonte subite d'immenses dépôts de neige accumulés antérieurement sur les Alpes occidentales, ou à des pluies torrentielles longtemps continuées, ou enfin à de grandes oscillations des mers (§ 33). Quoi qu'il en soit, les courants qui se formèrent alors, en sillonnant la surface des terres, en ont transporté les débris de toutes parts; de là les immenses alluvions de la vallée du Rhône, de la Crau, des plaines de la Lombardie, de celles de la Bavière, de la vallée du Rhin, etc. De là aussi l'existence de plusieurs de nos grandes vallées, la configuration dernière des autres, ainsi que les érosions et les dénudations que nous apercevons en tant de lieux différents (§ 175, 214).

§ 374. Le soulèvement général du sol, les affaissements partiels, la formation et l'érosion des vallées actuelles, la délimitation des mers, telles qu'elles se présentent aujourd'hui, ne sont pas les seules conséquences de l'apparition des Alpes principales. Ce grand bouleversement des terres, qui s'est étendu sur une grande partie du globe, depuis la hauteur de l'Espagne jusqu'au centre de l'Asie (§ 351), a été suivi du refroidissement de ces contrées, et de la disparition de la plupart des êtres organisés qui s'y trouvaient précédemment. Depuis lors, en effet, les palmiers ont complétement cessé de végéter en Europe, et les plantes dicotylédones se sont prodigieusement accrues. Les éléphants, les rhinocéros, les panthères qui venaient de paraître dans cette partie du monde (§ 372), s'y sont alors totalement éteints; et si l'ours des cavernes trouve son analogue dans nos ours actuels, la taille, du moins, a considérablement diminué. La forme de l'Europe a de nouveau complétement changé, et elle s'est trouvée remplacée par celle que nous connaissons aujourd'hui. Peut-être a-t-il paru alors dans certaines parties de la terre divers animaux, dont les dépôts précédents n'ont offert aucun reste; tels sont surtout les grands édentés dont on trouve les débris dans les dépôts diluviens de l'Amérique méridionale où ils auront été ensevelis dans une des convulsions partielles qui ont probablement suivi celle des Alpes principales. A leur tête se trouvent, d'une part, les holophorus, pachytherium, chlamydotherium, etc.,

tous au moins de la taille d'un bœuf, et couverts, comme les animaux du genre tatou, d'une cuirasse osseuse (fig. 392); de l'autre, des animaux analogues à ceux du genre bradype ou paresseux (fig. 391), tels que le mylodon, et surtout le mégatherium (§ 306), de la taille des plus grands éléphants. Celui-ci devait être un animal très-robuste, mais lourd dans ses mouvements comme ses congénères actuels, et dont les habitudes devaient être analogues aux leurs, se nourrissant comme eux de fruits, de feuilles, de racines.



Fig. 391. *Paresseux à trois doigts.* Fig. 392. *Tatou cabassou.*

Tout porte à penser que c'est seulement au temps de calme qui suivit la catastrophe des Alpes principales, qu'on doit rapporter l'apparition de l'homme sur la terre. En effet, d'un côté, il n'y a pas même de débris humains dans les dépôts émergés qu'on a trop légèrement nommés diluvium, en les attribuant au déluge, car on ne peut compter les squelettes de la Guadeloupe qui sont de l'époque moderne, (§ 118); d'un autre côté, les animaux dont alors l'existence a commencé sont précisément ceux avec lesquels, depuis les temps historiques, l'homme a toujours vécu.

§ 375. **Epoque moderne.** — Depuis le soulèvement des Alpes principales, il ne s'est fait aucun grand bouleversement sur le sol de l'Europe. L'événement du Ténare (§ 350), qui s'est particulièrement manifesté dans la Morée, n'a laissé ailleurs que de faibles traces, quoiqu'il ait cependant affecté en Sicile des dépôts qui renferment des traces d'une industrie récente, ce qui prouve qu'il est postérieur à l'apparition de l'homme sur la terre. Il n'y a eu, d'ailleurs, que quelques faibles mouvements de la surface terrestre, qui ont été produits pendant les tremblements de terre (§ 32, 153 à 156). Il est à croire du reste que c'est de la période moderne que

date la formation du Vésuve, de l'Etna, etc., et probablement celle des volcans récents de l'Auvergne, du Velay et du Vivarais (§ 350), dont la belle conservation atteste la postériorité aux grandes dénudations de l'époque diluvienne.

C'est de l'époque moderne que paraît dater le commencement de tout ce qui se passe aujourd'hui sur le globe; les dunes, les cordons littoraux, le remplissage successif des lagunes restées derrière, leur conversion en deltas, tous phénomènes qui se continuent exactement aujourd'hui comme ils ont fait jadis, et qui peuvent dès lors servir de *chronomètres*, pour établir la durée de la période dans laquelle nous vivons. Le peu de largeur de l'espace envahi par les dunes (§ 87, 108), relativement à la plus petite rapidité que l'on puisse admettre dans leur marche, ne peut faire remonter le commencement des choses actuelles qu'à un temps très-peu reculé, à un très-petit nombre de milliers d'années. Les deltas conduisent au même résultat, et la petite étendue des dégâts causés dans les montagnes et sur les côtes, par tous les éléments réunis, attestent aussi le peu d'antiquité de l'état actuel du globe. Nous ne pouvons guère remonter par les considérations géologiques, plus loin que par l'histoire même, et établir une durée de plus de six à huit mille ans.

§ 376. S'il est évident qu'il ne s'est presque rien passé en Europe après le grand événement des dernières Alpes, peut-être n'en fût-il pas de même dans les autres parties du monde. On peut soupçonner en effet, d'après les observations que nous possédons, qu'une grande partie de l'immense bourrelet montagneux qui longe l'Amérique, et qui traverse l'Asie du Kamtschatka à l'empire Birman (§ 10), est le résultat d'une catastrophe beaucoup plus récente. Ce système de montagnes offre du moins le trait le plus étendu, le plus tranché, et pour ainsi dire le moins effacé de la configuration extérieure de la terre. C'est là que se présente aujourd'hui le plus grand nombre de soupiraux volcaniques en activité, et par conséquent la communication la plus étendue, la mieux conservée de l'intérieur du globe à l'extérieur; peut-être aussi la plus grande masse de produits volcaniques que l'on connaisse.

RÉSULTATS GÉNÉRAUX.

§ 377. **Déluge.** — Les apparitions successives des grandes chaînes de montagnes ont produit, comme nous l'avons clairement reconnu, de grands bouleversements sur les diverses parties de la terre qui en ont été tour à tour le théâtre. Mais il est évident que de telles catastrophes, du moins celles qui ont été d'une grande

énergie et qui se sont développées sur un grand espace, comme les soulèvements des Pyrénées, des Alpes, etc. (§ 346 à 349), ont dû manifester aussi leur action sur tout le reste du globe par des phénomènes secondaires plus ou moins importants. Si un simple tremblement de terre suffit pour produire une violente agitation de la mer, une irruption subite de ses eaux sur les continents (§ 33), les effroyables catastrophes qui se sont manifestées à diverses reprises sur notre planète, n'ont pu manquer de déterminer dans l'Océan des mouvements plus ou moins impétueux, des dérangements momentanés ou des changements durables dans la surface d'équilibre des eaux (§ 34). De là sans doute des inondations extraordinaires, qui, à chaque catastrophe, ont dû ravager la surface des terres existantes, y produire, comme de nos jours (§ 33, 95, 214), des dénudations diverses et des alluvions superficielles plus ou moins étendues.

Or, puisque sans compter tout ce qui a jusqu'ici échappé aux investigations de la science, l'observation nous montre clairement, en Europe, une série de mouvements successifs du sol qui ont modifié toute cette partie du monde, et plusieurs même tout un hémisphère (§ 155, 351), il n'y a rien d'absurde à admettre que ce qui a eu lieu à tant de reprises différentes, depuis les époques les plus anciennes de formation (§ 229, 334), jusqu'aux plus modernes (§ 310, 350), soit arrivé une fois quelque part depuis l'apparition du genre humain sur la terre (§ 374). Par conséquent, il n'y a rien non plus de contraire à la raison dans la croyance à une grande irruption des eaux sur les terres, à une inondation générale, à un déluge enfin, qu'on trouve non-seulement décrit dans la Bible, mais encore profondément empreint dans les traditions de tous les peuples, et, ce qui est remarquable, à une date presque uniforme. Ainsi, tout en reconnaissant dans le récit de Moïse, des circonstances extraordinaires qui indiquent l'intervention surnaturelle de la volonté divine pour châtier le genre humain, nous voyons d'un côté, la possibilité matérielle de cet affreux événement, et nous trouvons de l'autre le secret même des moyens qui purent être mis en jeu; c'est-à-dire les soulèvements, les affaissements, les oscillations que les eaux purent en éprouver, qui deviennent dès lors les instruments de la justice céleste. Si l'on ne peut guère attribuer cette grande catastrophe au système de soulèvement du Ténare (§ 350), qui, en disloquant des dépôts où se trouvent déjà des traces de l'industrie humaine, n'a cependant produit que de faibles résultats, peut-être en trouverait-on la cause dans l'apparition des Andes et de la chaîne volcanique de l'Asie centrale, qui, avec un déve-

loppement colossal, présente des caractères assez frappants de nouveauté relative (§ 376).

378. **Avenir du globe.** — Quant à l'avenir de notre planète, tout porte à croire que l'état de tranquillité dans lequel nous vivons n'est que temporaire, aussi bien que tous les intervalles de crises pendant lesquels les différents dépôts sédimentaires du globe se sont formés. En effet, dans la série des perturbations qui ont fait de tout temps partie du mécanisme de la nature, nous ne voyons aucune loi qui puisse permettre de concevoir un terme à la succession de ces phénomènes ; à des accidents peu importants, succèdent indistinctement ou des crises du même ordre, ou d'affreuses catastrophes ; comme à de longues périodes de tranquillité succèdent tout à coup des bouleversements épouvantables. Au petit soulevement du mont Viso, par exemple (§ 345), a succédé la grande catastrophe des Pyrénées (§ 346) ; après celle-ci viennent les petits accidents du système de Corse qui ont été suivis immédiatement par les deux grands événements consécutifs des Alpes (§ 348, 349). La longue période des terrains jurassiques (§ 255 à 267), a été troublée par le soulèvement de la Côte-d'Or (§ 344), comme le dépôt du grès vosgien (§ 249), a été presque aussitôt arrêté par le système du Rhin (§ 342). Tout est donc irrégulier dans les révolutions que nous avons appris à connaître ; il ne se présente aucune circonstance qui puisse suggérer l'idée d'une diminution graduelle dans l'intensité des actions souterraines, et nous faire penser que la croûte terrestre ait aujourd'hui perdu, en quelque point que ce soit, la propriété de s'affaisser, d'être soulevée ou disloquée de toutes les manières et dans tous les sens. Rien en conséquence ne peut nous assurer que la période calme dans laquelle nous nous trouvons depuis 5158 ans [1] ne sera pas troublée à son tour, à l'improviste, par l'apparition de quelque nouveau système de montagnes, effet d'une nouvelle dislocation du sol, dont les tremblements de terre nous montrent assez que les fondements ne sont pas inébranlables. De là il suit que l'idée d'une fin, ou d'un renouvellement des choses ici-bas, idée religieuse et tout aussi répandue que celle d'une grande inondation passée, pourrait également trouver un appui dans les lois mêmes qui semblent régir le monde.

379. **Géogénie.** — L'histoire de tous les systèmes qui ont été imaginés pour expliquer l'origine du monde et de la terre en particulier, pourrait peut-être offrir quelque attrait à la curiosité ; mais,

---

[1] Suivant la chronologie admise aujourd'hui, le déluge a eu lieu 3308 ans avant Jésus-Christ ; donc 5158 avant l'époque actuelle.

outre que ce serait employer ici beaucoup de temps à de purs romans, il est peut-être avantageux, pour l'honneur de l'espèce humaine, de livrer à l'oubli tant d'aberrations d'esprit que nous aurions à faire connaître. Une seule géogénie mérite notre attention : c'est celle qui se trouve exposée dans le livre de Moïse, et qui, après plus de trois mille ans, se présente encore, d'un côté, comme l'application la plus nette des théories les mieux établies, et, de l'autre, comme le résumé le plus succinct des grands faits géologiques.

Quoi de plus rationnel, en effet, et de plus conforme à l'état même de nos connaissance actuelles, quand il s'agissait de mettre de l'ordre dans la confusion générale des choses, que de créer le véhicule au moyen duquel les phénomènes de la lumière, de la chaleur, etc., pouvaient se manifester et porter la vie partout ; que de rassembler de toutes parts les éléments dispersés, en certains groupes espacés entre eux ; que d'établir çà et là des centres d'attraction autour desquels tout pût graviter suivant une loi immuable, etc. ? C'est cependant ce qu'on trouve, en termes brefs et vulgaires, mais intelligibles à tous, dans les premiers versets de la Genèse, qui nous offrent clairement trois grandes opérations parfaitement distinctes. En effet, on y trouve, en résumé : *Deus fecit* LUCEM (le fluide de la lumière, de la chaleur, etc.), FIRMAMENTUM (l'espace et toutes les masses qui s'y trouvent disséminées), SOLEM ET STELLAS (les centres d'attraction), etc.

Quant à la création organique, elle se partage en quatre époques successives tout aussi rationnelles. La première établit la *vie végétative*, qui se manifeste non-seulement dans les plantes, mais encore dans ces animaux inférieurs, où l'on trouve à peine autre chose que les phénomènes de nutrition, d'accroissement, etc. Vient ensuite la *vie de relation*, où la sensibilité, l'instinct, l'intelligence, la volonté, se joignent successivement, en diverses proportions, aux phénomènes de pure existence. Cette vie nouvelle prend d'abord un certain développement dans les poissons (comprenant sans doute les reptiles), puis dans les oiseaux, qui constituent ensemble la seconde époque de création. Elle acquiert une nouvelle extension dans les mammifères, qui paraissent à une troisième époque ; et enfin elle parvient au plus haut degré dans l'homme, qui termine l'œuvre du Tout-Puissant, en recevant une âme à son image pour le distinguer de tous les animaux.

Cet exposé de la création nous offre sans doute un admirable exemple de combinaisons organiques successives ; mais ce qui n'est pas moins remarquable, c'est précisément aussi l'ordre dans lequel se présentent successivement tous les débris ensevelis dans les dépôts

sédimentaires des différents âges. Ceux que nous rencontrons dans les couches que nous regardons comme les plus anciennes sont les dépouilles calcaires de certains polypiers, les moules, quelquefois le test même de quelques mollusques acéphales, les crustacés trilobites, et les débris végétaux, dont l'accumulation a formé l'anthracite des terrains dévoniens (§ 234 à 236). L'abondance, l'étendue, l'épaisseur de ces matières combustibles annoncent une grande puissance de végétation, qui conduit à croire que les plantes existaient déjà depuis longtemps, et que peut-être leurs premiers débris ont disparu dans les métamorphismes profonds qui ont modifié les dépôts dans lesquels ils pouvaient être.

Les poissons ne paraissent pas avoir existé avant l'époque des terrains dévoniens, et c'est seulement dans la période de formation des dépôts de calcaire carbonifère, qu'ils ont acquis une puissance d'organisation (§ 236), qui se perd dans les dépôts suivants et qu'on ne connaît même plus aujourd'hui sur le globe. Les reptiles ont laissé leurs dépouilles dans les terrains pénéens qui viennent ensuite (§ 248), et les oiseaux dont la Genèse place aussi la création à la même époque, quoique en second lieu, ont laissé pour la première fois les empreintes de leurs pattes sur les dalles des grès de la formation triasique (§ 250).

Les mammifères terrestres ne viennent que longtemps après ; si l'on en trouve déjà quelques faibles traces dans la grande oolite (§ 264, ils appartiennent aux ordres les plus inférieurs de la classe. Ce n'est que dans les terrains tertiaires que leurs débris de toute espèce se présentent en abondance (§ 286, 291, 297 et 306), et les couches les plus modernes sont même les seules qui renferment des éléphants, des chevaux, des singes, etc.

Les débris organiques de l'homme ne se sont jusqu'ici montrés dans aucune des couches qui ont été soulevées du sein des eaux, et qui font aujourd'hui partie de nos continents ; d'où il suit que l'être privilégié de la création générale n'a paru sur le globe que longtemps après les animaux les plus modernes dont nous trouvons aujourd'hui les ossements fossiles ; il ne peut dater que d'une époque relativement très-récente, qui paraît se placer géologiquement après le soulèvement des Alpes principales, dont, en conséquence, l'événement remonterait au moins à 6813 ans, suivant les chronologies généralement admises[1]. C'est uniquement, en conséquence, dans les dépôts formés sous les eaux depuis cette grande catastrophe, qu'on peut

[1] Il s'est écoulé 4963 ans entre la création de l'homme et la naissance de Jésus-Christ.

espérer de trouver des restes humains ; ils n'apparaîtront dès lors dans la série des couches géologiques que quand de nouvelles catastrophes auront pu transformer en continents les sédiments qui se trouvent encore aujourd'hui sous les mers. Le soulèvement du Ténare et quelques tremblements de terre n'en ont mis à nu que quelques lambeaux dans lesquels il ne s'est encore trouvé que quelques débris d'industrie naissante.

§ 380. On voit évidemment par les réflexions qui précèdent que l'exposé rapide de l'historien sacré se trouve entièrement conforme aux généralités géologiques qui ont été le plus solidement établies ; seulement, les observations minutieuses auxquelles on s'est livré de nos jours, nous font connaître un grand nombre de détails, inutiles sans doute pour la plupart des hommes, mais qui intéressent du moins ceux qui se livrent à l'étude, s'ils ne sont même destinés peut-être à éclairer leur croyance religieuse.

L'ensemble des données positives que nous possédons aujourd'hui en géologie nous conduit à reconnaître que chacune des créations particulières indiquées brièvement dans la Genèse, à l'exception de celle de l'homme, n'a pu avoir lieu d'un seul jet ; qu'elle a été faite, au contraire, successivement, dans un espace de temps considérable, et à mesure que le globe terrestre était lui-même façonné. En effet, si les cryptogames vasculaires ont paru à peu près dès le commencement des choses, les phanérogames gymnospermes ne sont venues que vers l'époque du terrain houiller, et n'ont même existé en abondance que longtemps après ; il en est de même des monocotylédones dont les débris sont d'abord peu nombreux et peu distincts, et qu'on ne voit bien clairement qu'après la craie ; les dicotylédones ne paraissent que plus tard encore au milieu des terrains tertiaires. Dans tout cet intervalle de temps, les espèces ont successivement changé, et celles qui ont été créés tour à tour ont aussi entièrement disparu l'une après l'autre pour faire place à de nouvelles.

Les reptiles, les poissons, les mollusques, nous présentent les mêmes phénomènes, et nous montrent plus clairement encore des extinctions successives de différentes races créées d'abord et l'apparition nouvelle de plusieurs autres. Ainsi les poissons sauroïdes, qui vivaient à l'époque du calcaire carbonifère, en Belgique et en Angleterre, disparaissent pour toujours dans le nouvel ordre de choses qui s'établit ensuite, les dépôts houillers, et la formation pénéenne. Les vrais squales n'existaient pas alors, et ils apparaissent longtemps après dans la mer crétacée. Des sauriens gigantesques à pattes en forme de rames, des sauriens volants se trouvent en abondance à

l'époque jurassique, et disparaissent à l'époque suivante, où ils sont remplacés par d'énormes sauriens terrestres, dont il n'y a pas de traces auparavant. Ceux-ci, après avoir seuls longtemps peuplé la terre, se perdent aussi successivement, ne laissant après eux que des crocodiles, fort différents encore de ceux que nous avons aujourd'hui. De même, les trilobites, les productus, les spirifères, après avoir pullulé pendant quelque temps, disparaissent les uns après les autres. Les ammonites, les bélemnites leur succèdent, et se trouvent surtout en abondance dans la mer jurassique; puis elles s'éteignent complétement, après avoir changé successivement d'espèces, au moment où la formation crayeuse cesse aussi d'avoir lieu. Tous les mollusques qui viennent après se rapprochent de plus en plus de ceux qui existent, dont il n'y avait alors que de faibles traces.

Les mammifères présentent des circonstances absolument semblables, et leurs divers ordres, comme leurs diverses espèces, ne se montrent aussi que successivement. Ceux qui apparaissent d'abord ne sont que de faibles marsupiaux (§ 264), et c'est longtemps après que viennent les pachydermes analogues au tapir, dont les premières espèces sont bientôt anéanties. D'autres espèces leur succèdent et celles-ci se trouvent alors associées à de nouveaux animaux, les *mastodontes* et les *dinotherium*, qui s'éteignent presque aussitôt pour toujours. C'est plus tard encore que viennent les *éléphants*, et ils se montrent avec des *carnassiers*, des *rongeurs*, etc., qui n'existaient pas avant et dont les espèces ne sont encore que le prélude de celles qui apparaissent en même temps que l'homme.

Tous ces changements successifs dans la série des êtres organisés coïncident en général avec de grands bouleversements à la surface du globe. C'est en effet au moment des catastrophes produites par les divers mouvements du sol que disparaissent ordinairement les familles, les genres, les espèces de corps organisés qui avaient jusqu'alors existé. Dans les moments de calme suivants, se développe, au contraire, la nouvelle organisation, qui doit se trouver en harmonie avec les nouvelles circonstances atmosphériques et les diverses dispositions que les lignes isothermes (§ 25 à 27) ont pu prendre alors.

§ 381. Ces détails, que l'observation des circonstances géologiques permet d'ajouter au récit de la Genèse, sont en harmonie générale avec les faits qui s'y trouvent brièvement émis, et dont ils ne sont que le développement; la seule difficulté qu'ils puissent présenter est relative au mot *jour* qui, heureusement, d'après les autorités les plus éminentes de l'Église, depuis saint Augustin jusqu'à nous, peut-être interprété dans un sens différent de celui qu'on lui attri-

bue vulgairement. On peut penser, en effet, que cette expression fut employée dans un sens figuré, sans limites fixes, pour faire comprendre, et surtout retenir avec facilité, l'ordre et la succession des faits qui nous étaient révélés. Il est clair, en effet, que des détails minutieux établis catégoriquement par des chiffres, qui satisferaient la curiosité d'un petit nombre d'érudits, ne seraient ni saisis ni compris par le commun des hommes, qui cependant ont droit aussi à cet important enseignement. Nous prenons souvent nous-mêmes des voies encore plus détournées pour nous faire mieux entendre de tous : c'est ainsi que nous disons le lever et le coucher du soleil, l'arrivée de cet astre au méridien, au solstice, etc., quoique nous sachions bien que c'est à la terre qu'il faut attribuer des mouvements inverses.

Suivant les observations géologiques, cette expression vulgaire de *jours* parait devoir signifier des *époques*, qui présentent de longues périodes de temps dont la durée nous est tout à fait inconnue et relatives chacune à un certain système de création durant lequel il y a eu diverses formations d'êtres organisés, comme aussi des extinctions successives de ceux qui avaient existé les premiers. Chaque période commence à une date particulière nettement déterminée, et marquée par une catastrophe qui bouleverse plus ou moins l'ordre de choses établi précédemment sur la terre ; elle se prolonge pendant plus ou moins de temps, quelquefois à travers les époques suivantes, et souvent jusqu'à l'apparition de l'homme lui-même. Il s'est ainsi passé, suivant les conjectures de la science, un temps immense entre la formation des premiers sédiments et celle des derniers, sans compter ce qu'il a fallu pour la consolidation et le premier refroidissement des masses planétaires. C'est dans cette longue série de siècles, qui ne sont qu'un instant dans l'éternité, que la terre a été façonnée comme nous la voyons aujourd'hui par les mouvements de toute espèce du sol, par les dépôts sédimentaires de diverses sortes, et préparée enfin au séjour de l'homme, pour lequel Dieu avait tout disposé.

FIN DE LA GÉOLOGIE.

TABLE ALPHABÉTIQUE

DE LA GÉOLOGIE.

A

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

Q

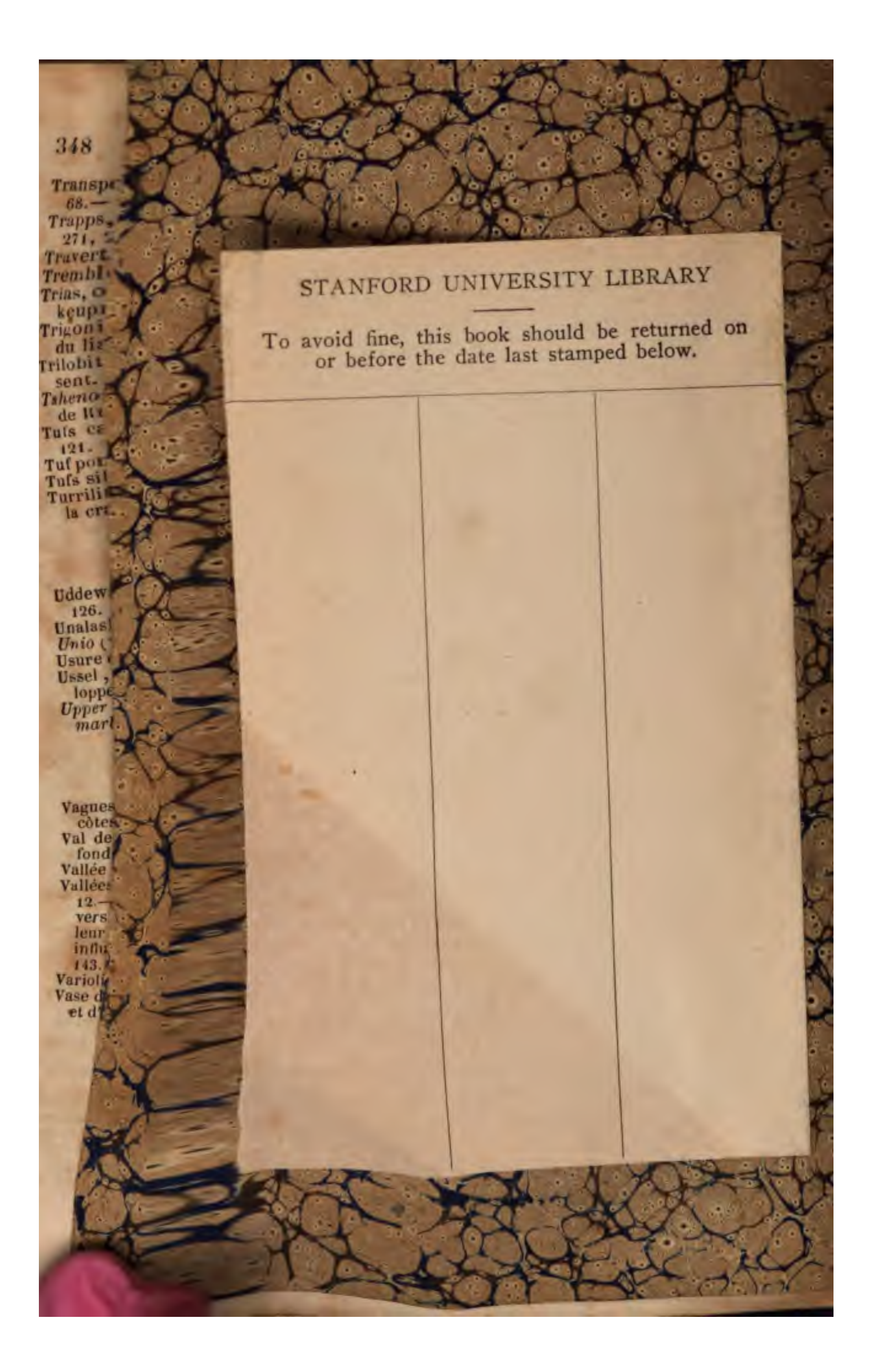
R

S

T

FIN DE LA TABLE ALPHABÉTIQUE.

Imprimerie de Ch. Lahure (ancienne maison Crapelet)
rue de Vaugirard, 9, près de l'Odéon.



STANFORD UNIVERSITY LIBRARY
To avoid fine, this book should be returned on or before the date last stamped below.


550 .B566a C.1
Geologie,
Stanford University Libraries
3 6105 032 139 300
277022

